www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

12e JAARGANG No. 6, blz. 161-188 JUNI 1950

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

TWEE ZENDBUIZEN VOOR GEBRUIK IN MOBIELE INSTALLATIES

door E. G. DORGELO en P. ZIJLSTRA. 621.385.4:621.396.61:621.396.72

Toen in 1896 Marconi de draadloze telegrafie had ontwikkeld tot een technisch bruikbaar communicatiemiddel, zag men als voornaamste toepassingsmogelijkheid hiervan de verbinding van schepen met de wal. In die dagen bestond er nog weinig verschil tussen een vast opgesteld en een mobiel radiostation. Dit veranderde toen men geruime tijd later de radio ook ging toepassen op de inmiddels tot ontwikkeling gekomen vliegtuigen, hetgeen diverse constructieve wijzigingen noodzakelijk maakte. In die tijd werd tevens de telegrafie grotendeels verdrongen door de telefonie. Uit de laatste jaren pas dateert het gebruik, op grote schaal, van radiotelefonie in rijdende auto's en treinen, voor welk doel de jongste radioconferentie te Atlantic City speciale frequentiebanden heeft toegewezen.

Ten aanzien van de zendbuizen die voor deze nieuwe groep van mobiele installaties zijn ontwikkeld, geldt dat ze een grote mechanische sterkte moeten paren aan een hoog rendement — dit laatste omdat men ten zeerste moet woekeren met het opgenomen vermogen, dat immers wordt geleverd door een energiebron van beperkte capaciteit, bijv. in een auto door de accumulator.

De laatste jaren hebben kleine, mobiele, radiotelefonische zend- en ontvanginstallaties een grote populariteit verworven doordat zij op velerlei gebied in een behoefte voorzien. Deze toestellen worden gemonteerd in auto's, treinen of kleine schepen, die daardoor met elkaar en met een of meer vaste punten verbinding kunnen onderhouden. Als voorbeelden noemen we: taxibedrijven, brandweer, politie, militaire colonnes, havenbedrijven, spoorwegen (zowel ten gerieve van de reizigers als voor de dienst op rangeerterreinen), afgelegen posten of plantages in onveilige streken, privé personen (doktoren, zakenlieden) die met hun woonhuis, kantoor of fabriek in contact willen blijven, enz.

Voor dergelijke doeleinden wordt de zender gewoonlijk met de ontvanger samengebouwd, soms op zo compacte wijze dat het geheel op de rug, of zelfs in de hand, kan worden gedragen (men denke aan de „walkie-talkies" en de „handie-talkies", die in de geallieerde legers zulke goede diensten hebben bewezen).

In dit artikel willen wij een tweetal zendbuizen bespreken die in het bijzonder voor kleine mobiele installaties zijn ontworpen. Dat voor dit doel nieuwe buizen nodig waren, hoewel er toch al jarenlang mobiele zenders voor (grotere) schepen en vliegtuigen bestaan, vindt zijn reden hoofdzakelijk hierin dat de energiebron — de accumulator van een auto, of de droge batterijen in het geval van de nog kleinere, draagbare, installaties — zeer beperkt in capaciteit is. Het komt er dus op aan dat de zendbuizen werken met een hoog rendement en dat zij zodanige eigenschappen hebben dat men kan volstaan met een klein aantal trappen (voor versterking en frequentievermenigvuldiging). Daarbij komt nog, dat de in rijdende treinen of auto's gebruikte buizen bestand moeten zijn tegen sterkere mechanische schokken dan die aan boord van schepen.

Alvorens over te gaan tot de bespreking van deze nieuwe buizen, willen wij een korte beschouwing wijden aan enkele punten die voor mobiele zenders van belang zijn.

Mobiele zenders

Golflengten

Mobiele radiostations hebben officieel erkenning gevonden op de internationale telecommunicatieconferentie die in 1947 te Atlantic City, V.S.A.,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

is gehouden, alwaar aan deze stations een aantal frequentiebanden zijn toegewezen. Voor zover deze banden liggen tussen 54 en 420 MHz (golven van 5,55 resp. 0,714 m), zijn zij aangegeven in *fig. 1*.

Dat wij de toegewezen banden buiten deze grenzen niet in deze figuur hebben opgenomen, heeft de volgende redenen. Bij frequenties beneden een zekere grens bestaat de kans dat de golven door de ionosfeer worden teruggekaatst en de aarde weer bereiken in ver van de zender af gelegen gebieden [1]). Het radioverkeer over grote afstanden maakt hiervan een dankbaar gebruik. Bij zenders echter die alleen voor een geringe reikwijdte zijn bedoeld, zoals mobiele zenders, is een dergelijke terugkaatsing ongewenst, daar storingen in uitgestrekte gebieden, waar men weer dezelfde golflengten gebruikt, er het gevolg van zouden kunnen zijn. Bij frequenties van 54 MHz en hoger behoeft men met dit effect geen rekening te houden. Wel kunnen, bij de hoogste toegewezen frequenties, reikwijdten van enige honderden km optreden onder bijzondere atmosferische omstandigheden (gepaard gaande met inversie van de temperatuurgradient), waarbij echter de ionosfeer niet is betrokken; deze toestand komt slechts vrij zelden voor.

De andere grens, 420 MHz, is ongeveer de hoogste frequentie waarbij de aanstonds te bespreken zendbuizen nog werken met een bevredigend rendement. Voor nog hogere frequenties zou men moeten overgaan op geheel andere buistypen.

Voor de frequentietoewijzing heeft men de wereld verdeeld in drie zones, waarvoor de volgende regelingen zijn gemaakt, voor zover het frequenties tussen 54 en 420 MHz betreft.

In *zone I*, die Europa, Afrika en delen van Azië omvat, mag men gebruik maken van de volgende frequentiebanden: 70-72,8; 75,2-78; 80-83; 85-87,5; 100-108; 156-174; 235-328,6 en 335,4-420 MHz.

Hierop zijn echter enkele uitzonderingen van kracht. De band 85-87,5 MHz geldt niet voor Engeland, dat in ruil daarvoor de beschikking heeft gekregen over de band 66,5-68 MHz. Andere afwijkingen gelden o.a. voor Zuid-Afrika en zijn mandaatgebieden, waaraan in plaats van de band 100-108 MHz de banden 133-144 en 146-174 MHz zijn toegewezen, en bovendien — doch alleen voor mobiele stations in dienst van de omroep — de band 54-68 MHz.

Aan *zone II* (in hoofdzaak Noord- en Zuid-Amerika) zijn toegewezen de banden 54-88; 132-144; 148-220; 225-328,6 en 335,4-420 MHz.

Zone III, die voornamelijk bestaat uit het niet tot Zone I behorende deel van Azië en uit Australië en Nieuw-Zeeland, heeft de beschikking gekregen over de banden 54-68; 70-78; 80-87 (in Australië en Nieuw-Zeeland: 80-85); 132-144 (niet in Australië en Nieuw-Zeeland); 148-200 (in Australië beperkt tot 156-170 en 178-200, in Nieuw-Zeeland tot 156-200); 235-328,6 en 335,4-420 MHz.

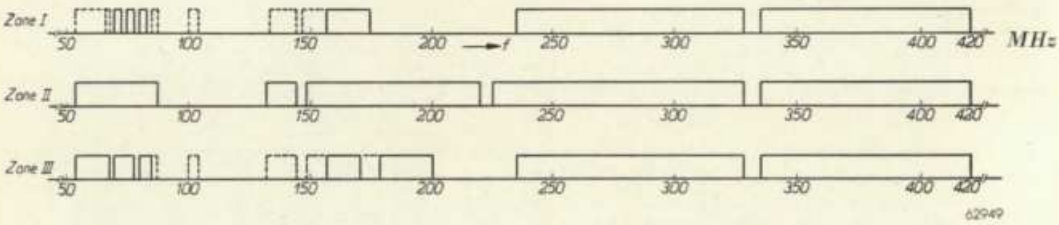


Fig. 1. De frequentiebanden die de in 1947 te Atlantic City gehouden internationale telecommunicatie-conferentie aan mobiele zenders heeft toegewezen, voor zover deze banden liggen tussen 54 en 420 MHz. Globaal omvat zone I Europa, Afrika en een deel van Azië, zone II Noord- en Zuid-Amerika, en zone III het niet tot zone II behorende deel van Azië, en Australië en Nieuw-Zeeland. Gestippeld aangegeven banden mogen slechts worden gebruikt in bepaalde gedeelten van de betreffende zone. Voor verdere details, zie klein gedrukte tekst.

Om storing van, of door, andere radioverbindingen te vermijden, mogen de mobiele zenders niet buiten de vastgestelde frequentiebanden werken, en bovendien moet, om onderlinge storingen te voorkomen, hun frequentie zeer constant zijn. Vandaar dat men is aangewezen op kristalsturing.

Vermogen en reikwijdte

Het vermogen van mobiele zenders houdt nauw verband, enerzijds met de minimale reikwijdte die wordt verlangd en anderzijds met het toelaatbare gewicht en volume van de apparatuur, met inbegrip van de energiebron.

Behalve van het antennevermogen is de reikwijdte sterk afhankelijk van de uitvoeringsvorm en de hoogte van de antenne, en bovendien heeft de omgeving een grote invloed. De antennevormen die het gunstigst zijn voor de uitstraling, zijn meestal te omvangrijk om er gebruik van te kunnen maken op een auto of een trein. De reikwijdte neemt toe naarmate men de antenne hoger opstelt, maar bij

[1]) Zie bijv.: C. J. Bakker, Het radio-onderzoek der ionosfeer, Philips techn. T. 8, 111-120, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

rijdende voertuigen is men ook met de hoogte uiteraard zeer beperkt. Vandaar dat men als antenne op een auto bijv. gewoonlijk slechts een eenvoudige verticale staaf op het dak gebruikt. In het vrije veld is de reikwijdte aanzienlijk groter dan in bebouwde gebieden. De nadelige invloed van bebouwing is, globaal gesproken, voor de hoogste frequenties het sterkst. Op deze regel komen echter uitzonderingen voor. Zo heeft men bijv. in New York de ervaring opgedaan dat in nauwe straten kortere golven door de gebouwen beter naar beneden worden gereflecteerd dan langere. Een tweede oorzaak waardoor in een stad kortere golven soms beter voldoen, is hierin gelegen dat zich in een straat staande golven kunnen vormen; bij het rijden door zo'n straat passeert men dus maxima en minima, en hoe sneller deze op elkaar volgen, dus hoe kleiner de golflengte is, des te minder lijdt de verstaanbaarheid hieronder.

Intermitterend bedrijf

Om het mogelijk te maken dat een oproep dadelijk wordt gehoord, moet in een mobiele radiopost de ontvanger voortdurend in bedrijf zijn. Na een binnengekomen oproep, of als men zelf een andere post wenst op te roepen, wordt op zenden overgeschakeld, hetgeen meestal geschiedt door middel van een schakelaar die is ingebouwd in het handvat van de microfoon. Deze schakelaar wordt vervolgens bediend in het rhythme van het gesprek. Aangezien in de regel de pauzen tussen de gesprekken veel langer zijn dan de gesprekken zelf, komt het er in de practijk op neer dat de zender slechts enkele % van de totale tijd in bedrijf is, en de ontvanger bijna continu. Dank zij deze lange tussenpozen zijn voor sommige zendbuizen instellingen geoorloofd waarbij een iets groter vermogen wordt afgegeven dan wat als maximum is toegelaten bij continu bedrijf.

Aantal trappen van de zender

Ondanks de naar verhouding korte werktijd van de zender is het geboden te streven naar een zo gering mogelijk opgenomen vermogen, dus naar een hoog totaal rendement van de zender. Wij zullen aanstonds ingaan op de maatregelen die in de nieuwe zendbuizen zijn genomen om de verliezen zoveel mogelijk te beperken, maar een zeker even belangrijke factor waarvan het totale rendement afhangt, is het aantal trappen dat men nodig heeft tussen het kwartskristal, dat de draaggolffrequentie bepaalt, en de antenne.

Dit aantal trappen houdt nauw verband met het modulatiesysteem. Twee systemen komen in aanmerking: amplitude- en frequentiemodulatie. Zij worden beide in mobiele zenders toegepast; op de redenen waarom men in het ene geval amplitudemodulatie, in een ander geval frequentiemodulatie kiest, kunnen we hier niet ingaan.

Bij amplitudemodulatie heeft men een constante draaggolffrequentie, die natuurlijk in één van de toegewezen frequentiebanden moet liggen. De frequenties van deze banden zijn zo hoog dat ze niet rechtstreeks door een kristal kunnen worden opgewekt. Met het oog op de breekbaarheid van het kristal namelijk, vooral bij de schokken waaraan het in een mobiele zender is blootgesteld, is ongeveer 0,15 mm de kleinste dikte waartoe men kan gaan, en hierbij behoort een eigen frequentie (grondfrequentie) van ongeveer 20 MHz [2]). Voor een draaggolffrequentie van bijv. 320 MHz moet men dus een minstens 16-voudige frequentievermenigvuldiging toepassen. In zulke gevallen kan men met voordeel gebruik maken van dubbele buizen, waarvan voor het genoemde doel de twee in één ballon aangebrachte electrodensystemen in cascade worden geschakeld. Met frequentieverdubbeling in elk systeem krijgt men het 16-voud van de ingangs-(kristal)frequentie dus door tussenkomst van slechts twee van deze dubbele buizen.

Verder heeft men dan nog een eindbuis nodig, benevens een modulatorbuis, en, tussen deze laatste en de microfoon, één of twee trappen laagfrequentversterking.

Bij frequentiemodulatie kan men bijv. te werk gaan als o.a. is beschreven door Braak [3]). De microfoonspanning laat men hierbij een in laagfrequent rhythme variërende fazeverschuiving teweegbrengen tussen twee stromen met de frequentie van het kwartskristal, en wel zodanig dat de faze φ van de som dezer stromen varieert volgens

$$\varphi = \omega_0 t + a \sin 2\pi\nu t$$

(ω_0 = hoekfrequentie van het kristal, t = tijd, a = amplitude van de fazeverschuiving (fazezwaai), ν = frequentie van het op de microfoon vallende geluid). Met de fazemodulatie van de somstroom correspondeert een frequentiemodulatie, en wel is bij definitie de ogenblikswaarde ω van de variëren-

[2]) Er worden ook, vooral in de V.S.A., kristallen gebruikt die trillen met (nagenoeg) een veelvoud van de grondfrequentie (zie bijv. het artikel van W. Parrish in dit nummer, blz. 170), zodat met nog robuuste kristallen hogere frequenties dan 20 MHz kunnen worden opgewekt.

[3]) D. J. Braak, Mobile radio-equipment, type SRR 192, Communication News **10**, 120-125, 1949 (No. 4).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de hoekfrequentie:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \omega_0 + a \cdot 2\pi\nu \cos 2\pi\nu t ,$$

en dus de ogenblikswaarde $f = \omega/2\pi$ van de gemoduleerde frequentie:

$$f = f_0 + a\,\nu \cos 2\pi\nu t$$

($f_0 = \omega_0/2\pi$). Deze frequentie zwaait met een bedrag $a\nu$. Voor onvervormde weergave moet de frequentiezwaai evenredig zijn met de geluidsintensiteit en onafhankelijk van de geluidsfrequentie ν, dwz. de fazezwaai a moet evenredig zijn met de geluidsintensiteit en omgekeerd evenredig met ν [4]).

Wordt tussen de modulatortrap en de eindtrap een n-voudige frequentievermenigvuldiging toegepast, dan zal dus de antennefrequentie zwaaien met een bedrag $na\nu$. Aan deze zwaai is, volgens internationale overeenkomst, voor zenders die alleen worden gemoduleerd met spraak — zoals bij mobiele zenders het geval is —, de grens gesteld van 15 000 Hz, en om de voordelen van frequentiemodulatie zo goed mogelijk tot hun recht te laten komen, dient men deze zwaai ook ten volle te gebruiken. Om een te grote niet-lineaire vervorming te vermijden, moet de fazezwaai a beperkt blijven tot een hoek van ca 0,5 radiaal. Hieruit volgt voor de frequentievermenigvuldiging die nodig is om bij de grootste fazezwaai, dus bij de laagste spraakfrequentie ν waarmee bij telefonie wordt gerekend (300 Hz), en bij volle fazemodulatie ($a \approx 0{,}5$ radiaal), de antennefrequentiezwaai juist 15 000 Hz te doen zijn:

$$n \approx \frac{15\,000}{0{,}5 \cdot 300} = 100 .$$

(Daar deze waarde van n groter is dan we vonden bij amplitudemodulatie, komt bij frequentiemodulatie de mechanische sterkte van het kristal niet in het geding.)

Een ongeveer 100-voudige frequentievermenigvuldiging kan men realiseren met drie dubbele buizen, bijv. als volgt: $(3\times2)\times(2\times2)\times(2\times2) = 96$. Voor de eerste van deze buizen kan men volstaan met een type van gering vermogen en dat niet voor bijzonder hoge frequenties geschikt behoeft te zijn, bijv. de dubbele triode ECC 40, doch voor de derde buis (eventueel ook voor de tweede), waarin de frequentie aanzienlijk hoger is dan de kristalfrequentie, kan men bij voorkeur een van de aanstonds te bespreken dubbele tetroden type QQC 04/15 of QQE 06/40 [5]) gebruiken. Deze zelfde typen kunnen dienst doen als eindbuis (zowel bij frequentie- als bij amplitudemodulatie); dan worden echter de beide systemen niet in cascade, maar in balans geschakeld. Wij komen hierop nog terug.

Keuze van het buistype

Tot de keuze van een tetrode, en niet van een triode of een penthode, als buistype hebben een aantal overwegingen geleid, die merendeels algemeen gelden voor zendbuizen voor het beschouwde frequentiegebied, dus zonder beperkt te zijn tot buizen voor mobiele zenders. Deze overwegingen zijn de volgende.

Bij hoge frequenties is een triode in twee opzichten in het nadeel tegenover een schermroosterbuis (tetrode of penthode): in de eerste plaats doordat een triode een groter stuurvermogen vraagt [6]) en dus ook een groter aantal versterkingstrappen nodig maakt, en ten tweede doordat men het met schermroosterbuizen, in tegenstelling tot trioden, tot vrij hoge frequenties nog kan stellen zonder (uitwendige) neutrodynisatie, d.i. compensatie van schadelijke terugkoppeling, die bijv. ontstaat door de parasitaire capaciteit tussen de anode en het stuurrooster.

Vandaar dat de keuze is gevallen op een schermroosterbuis. Van de beide in aanmerking komende soorten: tetrode en penthode, is bij zeer hoge frequenties de eerste in het voordeel, daar de afwezigheid van een derde rooster het veroorlooft, de anodecapaciteit, d.i. de capaciteit tussen de anode en de gezamenlijke andere electroden, kleiner te maken. Het ontbreken van het derde rooster maakt echter bepaalde maatregelen nodig om te voorkomen dat eventueel door de anode geëmitteerde secundaire electronen het schermrooster bereiken. Het is immers juist de taak van het derde rooster (remrooster) in een penthode, tussen de anode en het schermrooster een potentiaalminimum teweeg te brengen dat de ongewenste secundaire emissie onderdrukt. Men kan zulk een potentiaalminimum echter ook langs andere weg tot stand brengen, en wel door een tetrodesysteem zodanig te dimen-

[4]) Door middel van een corrigerend netwerk tussen de microfoon en de fazemodulator kan men dit laatste met voldoende benadering bereiken.

[5]) In de type-aanduiding van deze zendbuizen betekent Q tetrode, QQ dubbele tetrode, C direct verhitte oxydekathode, E indirect verhitte oxydekathode. De cijfers 04 resp. 06 betekenen dat de buis is bestemd voor een voedingsspanning van 0,4 resp. 0,6 kV, en de getallen 15 resp. 40 geven de orde van grootte aan van het afgegeven vermogen in W (naar straks zal blijken, kunnen de genoemde buizen in geschikt gekozen schakelingen aanzienlijk meer vermogen afgeven dan 15 resp. 40 W).

[6]) Zie: J. P. Heyboer, Zendpenthoden, Philips techn. T. 2, 257-265, 1937, in het bijzonder blz. 260 en 261.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

sionneren dat, bij de normale bedrijfsstromen en -spanningen, tussen de anode en het schermrooster een concentratie van ruimtelading optreedt die aan het gewenste potentiaalminimum beantwoordt [7]).

Bovendien kan men de secundaire emissie zelf tegengaan, door de anode te bedekken met een laagje waar de electronen moeilijk uittreden (zie het in noot [7]) aangehaalde artikel). Beide maatregelen zijn in de nieuwe buizen toegepast.

De anodecapaciteit, reeds klein door het weglaten van een derde rooster, kan nog verder worden verminderd door het electrodensysteem in tweeën te delen en de beide helften in balansschakeling op de uitwendige kringen aan te sluiten. Bij gegeven totale afmetingen van de electroden (dus bij een bepaalde nog toelaatbare warmtedissipatie van de buis) en gegeven onderlinge afstanden tussen de electroden krijgt men door deze deling een viermaal zo kleine ingangs- en uitgangscapaciteit, aangezien de deelcapaciteiten, in plaats van parallel, in serie komen te staan.

Door de beide electrodensystemen van de dubbele buis, die wij door deze deling hebben verkregen, niet in balans, maar in cascade te schakelen, kan hetzelfde buistype met voordeel ook dienst doen voor frequentievermenigvuldiging, zoals wij boven hebben gezien.

Nu zijn zendbuizen met twee electrodensystemen in één ballon reeds sinds een vijftiental jaren bekend. Bij deze oude uitvoeringen waren de electroden die geen hoogfrequente spanning voeren (de kathoden en de schermroosters) twee aan twee verbonden door korte draden of strippen, en de middens (neutrale punten) van deze doorverbindingen waren door de ballonwand naar buiten gevoerd, evenals elk der beide stuurroosters en elk der beide anoden. In *fig. 2a* is dit voorgesteld. Een moeilijkheid bij deze buizen vormde de bij hoge frequenties niet verwaarloosbare zelfinductie van de doorverbinding der kathoden, resp. der schermroosters (fig. 2*b*). De zelfinductie tussen de kathoden levert een ongewenste tegenkoppeling en een positieve bijdrage tot de ingangsdemping [8]), zodat de buis, om een bepaald uitgangsvermogen te kunnen leveren, een groter stuurvermogen nodig heeft. De invloed van de zelfinductie tussen de schermroosters uit zich als een negatieve demping [9]), die alleen bij één bepaalde frequentie nul is, maar die bij andere frequenties een zodanige waarde kan aannemen dat men het, teneinde zelf-oscilleren te voorkomen, toch niet kan stellen zonder de een of andere vorm van neutrodynisatie, vooral bij buizen met een grote steilheid. Beneden de zoëven bedoelde frequentie kan deze neutrodynisatie tot stand worden gebracht door een condensator van een bepaalde capaciteit aan te brengen tussen iedere anode en het bij de andere anode behorende stuurrooster. Boven die frequentie moeten deze condensatoren worden aangesloten tussen elke anode en het bijbehorende stuurrooster.

Hoe bij de nieuwe uitvoeringen van dubbele tetroden deze complicaties zijn vermeden, zal blijken uit het volgende hoofdstuk.

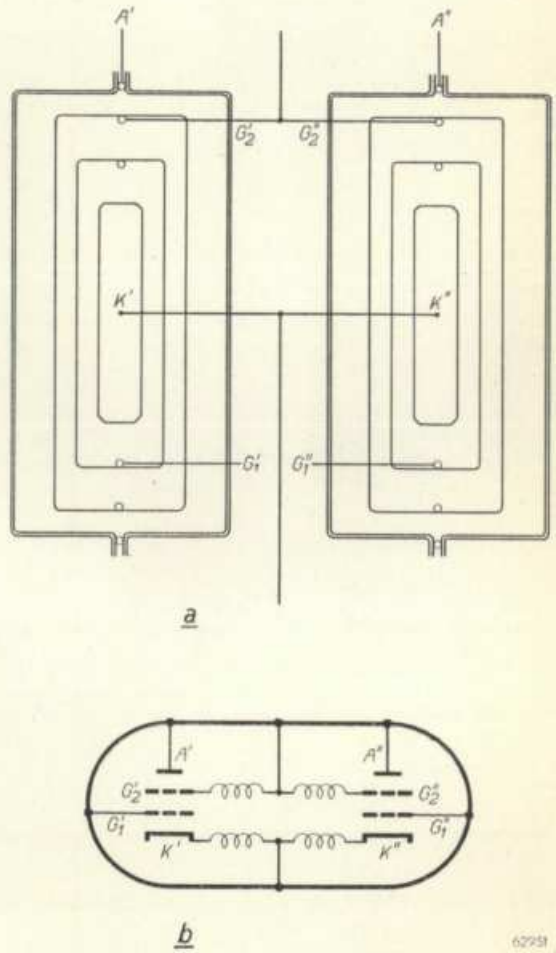


Fig. 2. (*a*) Doorsnede van een dubbele tetrode in oude uitvoering. K', K'' kathoden, G_1', G_1'' stuurroosters, G_2', G_2'' schermroosters, A', A'' anoden. In het vervangschema (*b*) zijn de parasitaire zelfinducties aangegeven die zich bevinden in de toevoerleidingen van de kathoden en de schermroosters. (De ook aanwezige parasitaire capaciteiten zijn niet getekend.)

[7]) Zie bijv.: J. L. H. Jonker, Secundaire emissie in eindbuizen, Philips techn. T. **10**, 346-351, 1948, fig. 3, kromme *1*. De daar besproken moeilijkheid, waardoor deze methode ontoereikend is voor eindbuizen van laagfrequentversterkers, doet zich bij zendbuizen in veel mindere mate voor.

[8]) M. J. O. Strutt en A. van der Ziel, Een regelbare versterkerbuis met dubbele kathodeleiding, geschikt voor metergolven, Philips techn. T. **5**, 369-374, 1940.

[9]) W. G. Wagener, 500-Mc transmitting tetrode design considerations, Proc. Inst. Rad. Engrs. **38**, 611-619, 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De dubbele tetrode QQE 06/40

Constructie

Een dubbele tetrode QQE 06/40, die is afgebeeld in *fig. 3*, bevat één, indirect verhit, nikkelen kathodelichaam in de vorm van een buisje met ongeveer rechthoekige doorsnede (*fig. 4*). Alleen de lange, enigszins bolle, rechthoekszijden zijn met emitterende stof bedekt, zodat de buis toch eigenlijk twee kathoden heeft, doch deze zijn onderling verbonden door de beide korte rechthoekszijden van het kathodelichaam. De zelfinductie van deze parallel geschakelde, korte en brede verbindingsstroken is zo klein dat ook bij frequenties van 400 MHz het boven besproken effect van zelfinductie in de verbinding der kathoden geheel is te verwaarlozen. De weerstand van deze verbinding is eveneens zeer gering, ook bij hoge frequenties, mede dank zij het feit dat de bedrijfstemperatuur van de kathode boven het Curie-punt van nikkel ligt, zodat de permeabiliteit 1 is en er derhalve geen sterk huideffect optreedt.

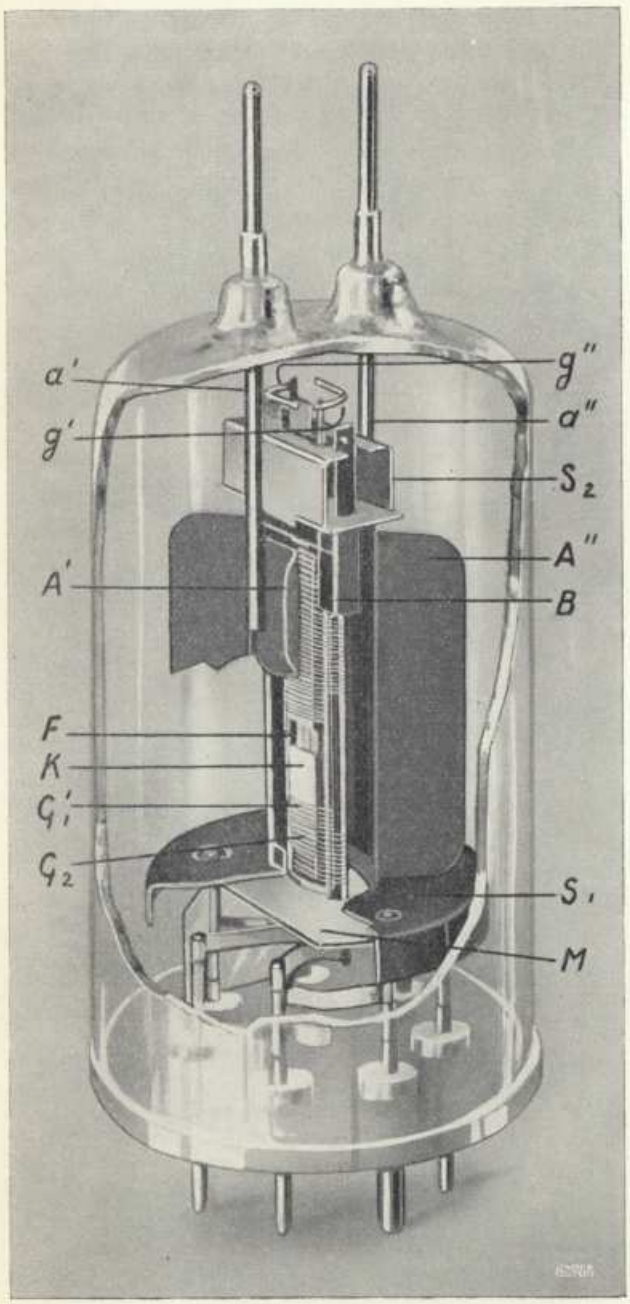


Fig. 3. Foto van de dubbele tetrode QQE 06/40, in opengesneden toestand om het inwendige te laten zien. K een der emitterende kathode-oppervlakken, F een der gloeidraden, G_1' een der stuurroosters, G_2 schermrooster, A', A'' anoden, B een der bundelplaten, S_1 benedenscherm, dat de mica plaat M, waarin de electroden zijn gefixeerd, afschermt. De staafjes g', g'' zijn verbonden met de roosters G_1' resp. G_1'' en vormen met de anodepolen a'', resp. a', neutrodynecondensatoren. Het met de kathoden en de platen B verbonden doosje S_2 schermt de neutrodynecondensatoren af ten opzichte van de electrodensystemen.

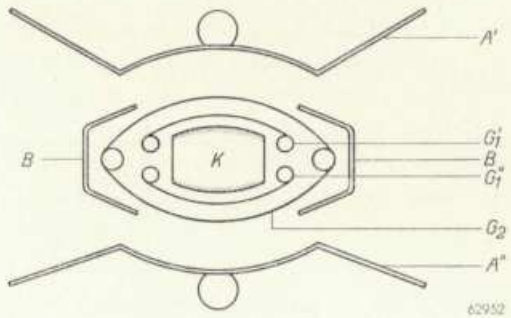


Fig. 4. Horizontale doorsnede van de buis QQE 06/40. Voor de betekenis van de letters, zie fig. 3.

De kathodevlakken worden verhit door twee binnen het kathodelichaam aangebrachte gloeidraden.

Tegenover ieder der emitterende vlakken bevindt zich, op geringe afstand ervan, een stuurrooster van laddervormige constructie. De gebogen vorm van de zeer dunne horizontale roosterdraden maakt, dat bij uitzetting van de draden de afstand tussen het rooster en de kathode niet kleiner kan worden, zodat er geen gevaar van kortsluiting bestaat.

De stuurroosters zijn vervaardigd van molybdeniumdraad en bedekt met een laagje goud. Dit laatste vermindert de weerstand bij hoge frequenties en verkleint de kans op thermische emissie van het rooster.

Om het uit de kathode en de beide stuurroosters bestaande systeem heen is één enkel schermrooster aangebracht. Dit bestaat uit windingen, die op twee steunbalken zijn bevestigd. Met deze constructie zijn afzonderlijke toevoerleidingen voor de beide schermroosterhelften, en dus ook de zelfinductie van deze leidingen, radicaal vermeden. Doch daarmee is tevens vervallen de compenserende

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

invloed die deze zelfinductie in een bepaald frequentiegebied uitoefent ten opzichte van de terugwerking der anode op het bijbehorende stuurrooster. Door het vervallen van deze compensatie zou een ongewenste oscilleerneiging kunnen optreden. Als maatregel hiertegen zijn in de buis QQE 06/40 twee kleine neutrodynecondensatoren aangebracht. Elk dezer condensatortjes wordt gevormd door de toevoerstaaf van een anode en een stukje draad dat is gelast aan een der verlengde steunbalken van het bij de andere anode behorende stuurrooster (zie fig. 3). De capaciteit is ten naaste bij gelijk aan de capaciteit tussen een anode en het bijbehorende stuurrooster. Op deze wijze is een neutrodynisatie verkregen die geheel onafhankelijk is van de frequentie waarop de buis werkt.

De anoden zijn plaatjes van molybdenium, die ter verkleining van de secundaire-emissiecoëfficient en ter verbetering van de warmtestraling, aan beide zijden zijn bedekt met zirconiumpoeder.

Aan weerszijden van het schermrooster is een U-vormig gebogen plaat, een zg. bundelplaat, opgesteld, die met de kathode is verbonden. Ze heeft tot taak het afbuigen van de electronen uit de kortste baan tegen te gaan. Aldus dragen deze platen er toe bij dat, bij grote waarden van de anodestroom, tussen het schermrooster en de anoden een zodanige concentratie van ruimtelading ontstaat dat de secundaire electronen het schermrooster niet kunnen bereiken.

Aangezien de bundelplaten beletten dat de electronen lange banen volgen, hebben de electronen alle ongeveer dezelfde, en zo kort mogelijke, looptijd. Zonder deze maatregel zouden looptijdverschillen optreden die bij zeer hoge frequenties nadelig zijn voor het rendement.

Evenals in ontvangbuizen, wordt in de buis QQE 06/40 een mica plaat gebruikt om de onderlinge stand van de electroden te fixeren; deze plaat is hier afgeschermd van het sterke electrische veld van de anoden. Daardoor treden er nagenoeg geen diëlectrische verliezen in het mica op, hetgeen ook weer het rendement ten goede komt.

Met uitzondering van de anoden, welker toevoeren bevestigingsstaven door de bovenzijde van de, van hard glas vervaardigde, ballon heen lopen (fig. 3), is het electrodensysteem gemonteerd op een bodem van poederglas [10]), waarin zich zeven staven van molybdenium bevinden. Drie hiervan zijn aan de binnenzijde van de ballon langer dan de andere vier en dragen de afscherming van de mica plaat. Deze afschermplaat vormt met de er aan gelaste bundelplaten een raamwerk, waarin de kathode en de roosters zijn bevestigd. Aldus is een uitzonderlijk stevige constructie verkregen, die de buis bestand maakt tegen sterke schokken.

Electrische eigenschappen

Zoals we al hebben vermeld, wordt de kathode verhit door twee, aan één zijde doorverbonden, gloeidraden. Deze kunnen naar believen parallel of in serie worden geschakeld, waarbij zij tezamen 6,3 V, 1,8 A, resp. 12,6 V, 0,9 A verbruiken, dit met het oog op het feit dat in sommige auto's accu's van 6 V, in andere accu's van 12 V worden gebruikt.

De anodegelijkspanning is max. 600 V bij frequenties lager dan 150 MHz, max. 400 V bij frequenties hoger dan 300 MHz, en max. 500 V in het tussenliggende frequentiegebied; de schermroosterspanning is 250 V. Deze spanningen kunnen worden betrokken van een roterende of een met een vibrator werkende omvormer. Elk der anoden kan 20 W, het schermrooster kan 7 W dissiperen.

De ingangscapaciteit, gemeten tussen de beide stuurroosters bedraagt circa 6,7 pF, de uitgangscapaciteit, tussen de beide anoden, is ongeveer 2,1 pF.

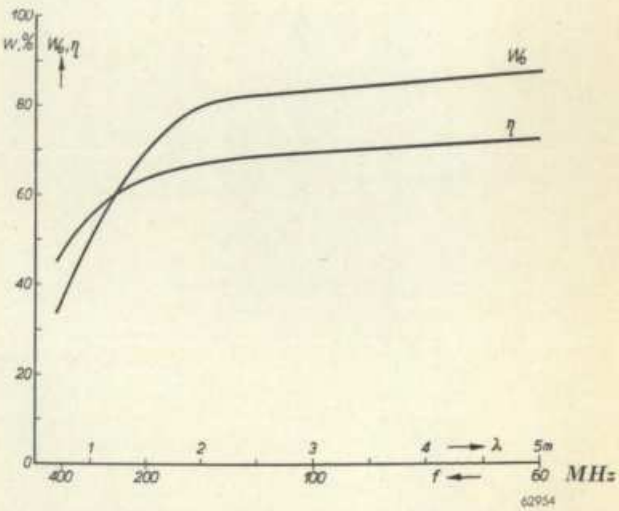


Fig. 5. Afgegeven vermogen W_0 en rendement η [11]) van de buis QQE 06/40, als functie van de golflengte λ en de frequentie f.

De terugwerking van iedere anode op het bijbehorende stuurrooster is, dank zij de beschreven ingebouwde neutrodynecondensatoren, geheel onbetekenend. Als gevolg hiervan kan de QQE 06/40 niet oscilleren zonder opzettelijk aangebrachte, uitwendige, terugkoppeling. In versterkers verzekert de afwezigheid van inwendige terugkoppeling een grote mate van stabiliteit. Dank zij het feit dat de zelfinductie en de weerstand van de kathode-

[10]) E. G. Dorgelo, Poederglas, Philips techn. T. 8, 2-7, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

leiding zeer klein zijn, is slechts een gering stuurvermogen nodig. Dit kan bijv. worden ontleend aan een buis EL 41.

De hoogste frequentie waarbij de QQE 06/40 nog met een behoorlijk rendement kan werken, is circa 430 MHz (golflengte 0,70 m). Bij hogere frequenties kan zij nog wel werken, maar dan is de vermogensversterking niet groter dan die van een overeenkomstige triode.

In *fig. 5* zijn het uitgangsvermogen en het rendement [11]) uitgezet als functie van de golflengte. Men ziet bijv. dat bij golven langer dan 2 m meer dan 80 W kan worden opgewekt, met een rendement van omstreeks 70%, en dat bij 1 m golflengte deze getallen nog 50 W, resp. 55% bedragen.

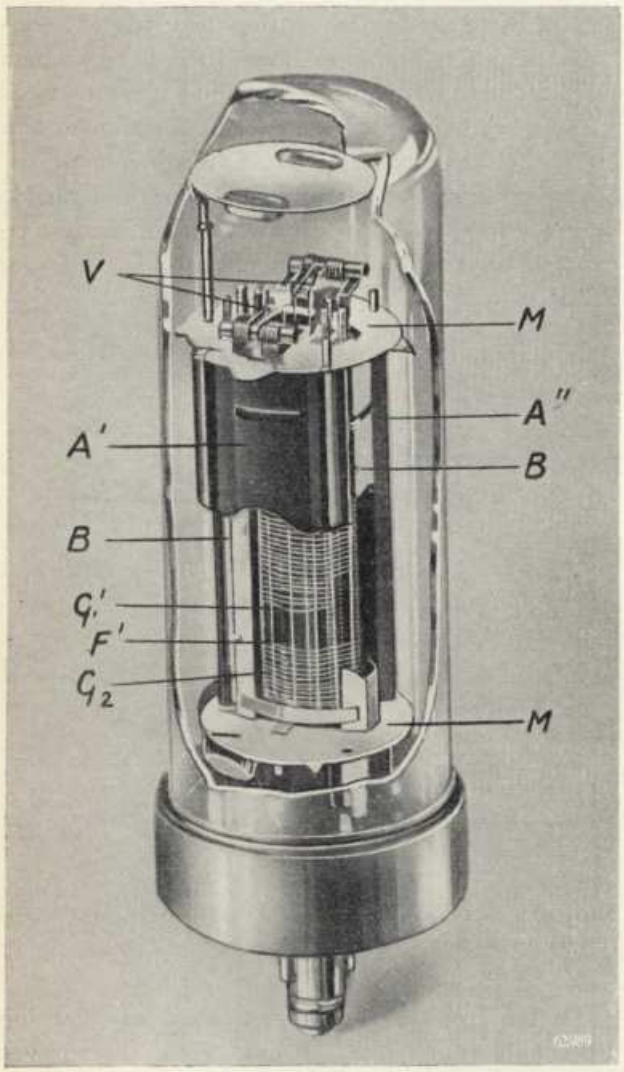


Fig. 6. Foto van een opengesneden dubbele tetrode QQC 04/15. F' een der direct verhitte gloeikathoden, G_1' een der stuurroosters, G_2 schermrooster, A', A'' anoden, B bundelplaten, M mica platen, V veren, die de gloeidraden gespannen houden.

[11]) Zoals gebruikelijk is, wordt hier onder rendement verstaan de verhouding van het door de buis afgegeven vermogen W_0 tot het aan de anoden toegevoerde gelijkstroomvermogen.

De dubbele tetrode QQC 04/15

Constructie

Voor gevallen waarin men kan volstaan met een geringer vermogen, deed zich de behoefte gevoelen aan een kleinere en goedkopere buis. Om hieraan tegemoet te komen, is de buis QQC 04/15 ontwikkeld, waarvan *fig. 6* een afbeelding geeft.

De constructie is in zoverre analoog met die van de QQE 06/40, dat de QQC 04/15 eveneens een dubbele tetrode is, met één, aan beide electrodensystemen gemeenschappelijk, schermrooster (zie de doorsnede, *fig. 7*).

Een punt van verschil echter vormen de kathoden, die hier direct zijn verhit en elk uit een V-vormige, met oxyden bedekte, gloeidraad bestaan. Voor zulk een kathode is een geringer gloeistroomverbruik nodig dan voor een overeenkomstige indirect verhitte kathode, en bovendien heeft de eerstgenoemde een veel kleinere warmtetraagheid. De kathode van de QQC 04/15, die 4,3 W verbruikt, is reeds 1,5 s na het inschakelen op de bedrijfstemperatuur. Daardoor kan, om onnodige belasting van de batterij te voorkomen, de gloeistroom uitgeschakeld blijven zolang de zender niet in bedrijf is.

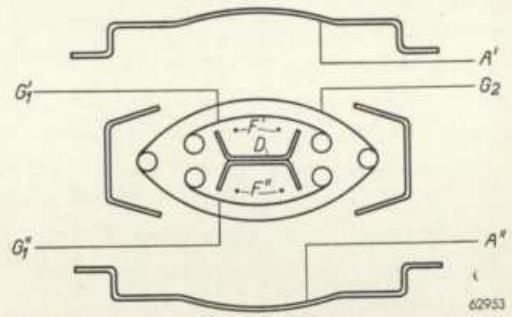


Fig. 7. Horizontale doorsnede van de buis QQC 04/15. F', F'' doorsnede van de twee V-vormige direct verhitte kathoden, waartussen een scherm D is opgesteld. Overige letters als in fig. 4.

De twee V-vormige gloeidraden zijn in serie verbonden; het gemeenschappelijke punt is verbonden met een doorvoerpen.

Een direct verhitte kathode veroorzaakt een grotere ingangsdemping dan een indirect verhitte. Hieraan is het te danken dat in de buis QQC 04/15 neutrodynecondensatoren achterwege konden blijven, maar daar staat tegenover dat een relatief groter stuurvermogen nodig is.

De ballon bestaat uit zacht glas. Weliswaar kan dit een minder hoge temperatuur verdragen dan het harde glas van de buis QQE 06/40, maar het heeft het voordeel dat de buis kan worden vervaar-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

digd op de machines die zijn ingericht voor de massafabricage van ontvangbuizen. De QQC 04/15 heeft dan ook geheel het uiterlijk van een ontvangbuis (fig. 6), en wel van het zg. sleuteltype.

Een verschil met normale ontvangbuizen vormen de doorvoerpennen, die hier niet uitsluitend bestaan uit chroomijzer, maar die over hun gehele lengte zijn overtrokken met een laagje koper, natuurlijk zodanig dat de doorvoeringen vacuumdicht zijn. Dit laagje heeft bij zeer hoge frequenties een weerstand die aanzienlijk lager is dan die van onbedekte pennen [12]).

In mechanisch opzicht blijkt de buis QQC 04/15 tegen het gebruik in rijdende auto's en treinen goed bestand te zijn, evenals de andere buizen die in de zender en in de ontvanger dienst doen.

Electrische eigenschappen

Bij een spanning van 6,3 V heeft de buis QQC 04/15 een gloeistroom van 0,68 A. Heeft men een accu van 12 V, dan kan men de buizen twee aan twee in serie schakelen.

De anodegelijkspanning is max. 400 V, de schermroosterspanning 200 V. Elk van de anoden kan 8 W dissiperen, het schermrooster 7 W.

In balansschakeling gebruikt, heeft de buis QQC 04/15 een ingangscapaciteit van 5,7 pF en een uitgangscapaciteit van 1,7 pF. De capaciteit tussen een anode en het bijbehorende stuurrooster bedraagt 0,05 pF.

Uit *fig. 8* zijn het afgegeven vermogen en het rendement af te lezen als functie van de golflengte.

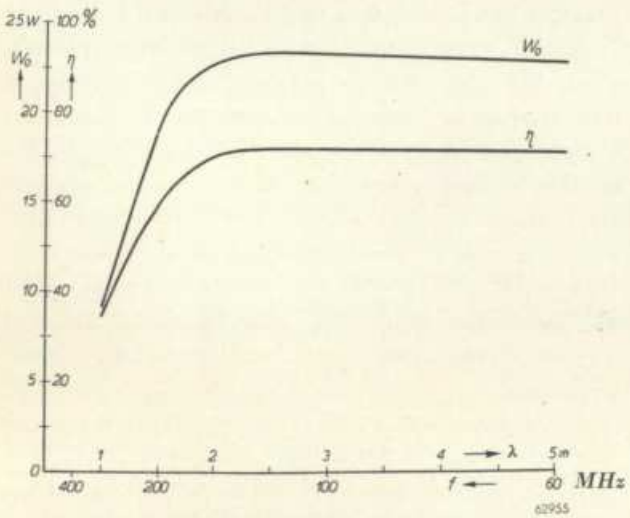


Fig. 8. Als functie van de golflengte λ en de frequentie f, zijn voor de buis QQC 04/15 het afgegeven vermogen W_0 en het rendement η [11]) uitgezet.

Bij golven van resp. 2 en 1 m bijv. kan circa 22,5 W, resp. 9 W, worden afgegeven, met een rendement van ruim 70%, resp. 34 %.

Mobiele installaties met de nieuwe buizen

De N.V. Philips' Telecommunicatie-Industrie fabriceert een mobiele installatie (type SRR 192), waarvan de zender en de ontvanger zijn samengebouwd in een metalen doos, die in de bagageruimte

Fig. 9. Mobiele zender-ontvanger type SRR 192 in de bagageruimte van een auto.

van een auto kan worden geplaatst (*fig. 9*). Vóór in de wagen bevinden zich een bedieningspaneel, de microfoon en de luidspreker. De gehele installatie is bestand tegen een tropisch klimaat.

De zender heeft een QQE 06/40 als eindbuis en biedt de keus tussen twee frequenties, die binnen een interval van 300 kHz zijn gelegen. De frequentievermenigvuldiging wordt hier bewerkstelligd met drie buizen EF 42 en één buis EL 41. Gewerkt wordt met frequentiemodulatie.

Wordt het toestel opgesteld op een vast punt, dan kan de voeding geschieden uit een wisselstroomnet. Tussen twee van deze installaties, de ene mobiel, de andere op een vast punt met een antenne 25 m boven de grond, wordt in het vrije veld een reikwijdte van 20 tot 25 km verkregen.

Voor verdere bijzonderheden verwijzen wij naar het in noot [3]) aangehaalde artikel.

Voor een kleinere mobiele installatie, die eveneens werkt met frequentiemodulatie en die een draaggolffrequentie heeft van 186,24 MHz, heeft een van de schrijvers (P.Z.) een ontwerp gemaakt [13]).

[12]) Vgl.: K. Rodenhuis, Twee trioden voor het ontvangen van decimetergolven, Philips techn. T. **11**, 79-89, 1949 (No. 3), in het bijzonder blz. 83.

[13]) Dit ontwerp is uitvoerig beschreven in "QQC 04/15 double tetrode for mobile transmitting equipment", een Technische Documentatie uitgegeven door de Afd. Electronica van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In deze installatie worden vier buizen QQC 04/15 gebruikt, waarvan er één dienst doet in de eindtrap en drie voor frequentievermenigvuldiging.

Samenvatting. Na enige algemene gezichtspunten omtrent mobiele radiostations, zoals de laatste jaren veelal worden gebruikt voor communicatie tussen rijdende auto's of treinen (onderling en met een vast punt), worden twee zendbuizen besproken die voor dit doel zijn ontwikkeld. Het zijn beide dubbele tetroden (type QQE 06/40 en type QQC 04/15), waarvan de twee electrodensystemen zo zijn geconstrueerd dat de schermroosters in mechanisch opzicht één geheel vormen; hierdoor zijn de complicaties die het gevolg zijn van parasitaire zelfinductie in afzonderlijke schermroosterleidingen, radicaal vermeden. In een eindtrap worden de twee tetrodensystemen van een buis bij voorkeur in balansschakeling gebruikt. Voor frequentievermenigvuldiging kan men ze in cascade schakelen. Het type QQE 06/40 heeft een indirect verhitte kathode van bijzondere constructie, waaraan het is te danken dat slechts een zeer klein stuurvermogen, dus een klein aantal trappen, nodig is. Twee ingebouwde neutrodynecondensatoren zorgen voor een grote stabiliteit. De kathoden van type QQC 04/15 zijn direct verhit en hebben dientengevolge een geringe warmtetraagheid. Type QQE 06/40 kan bij golven van 2 m en langer ruim 80 W opwekken met een rendement van omstreeks 70%, en bij 1 m golflengte nog 50 W met 55%. Bij type QQC 04/15 bedragen deze waarden circa 22,5 W met ruim 70%, resp. 9 W met 34%.

DE FABRICAGE VAN KWARTS-OSCILLATORPLAATJES

III. HET SLIJPEN EN AFWERKEN DER PLAATJES

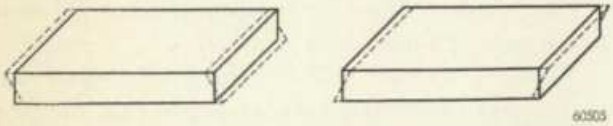
door W. PARRISH *).

549.514.51:621.396.611.21:621.923

Een zwaaiende slijpbeweging van de hand wordt vervangen door de cycloïde-achtige beweging van een machine. De mechanische aantasting door de korrels van een slijpmiddel wordt aangevuld met de moleculaire aantasting door een etsvloeistof. Ziedaar de grondslagen waarop men enerzijds de productie van kwarts-oscillatorplaatjes heeft kunnen verhonderd- en verduizendvoudigen en waarop men anderzijds de plaatjes duurzaam de gewenste eigenschappen heeft kunnen geven.

Een kwartsplaatje, bestemd voor het stabiliseren van de frequentie van een kortegolfzender die werkt op een golflengte tussen ongeveer 3 m en 150 m, wordt gewoonlijk uit het kristal gesneden volgens de zg. AT- of BT-snede en moet trillen met een afschuiving in zijn diktedoorsnede (*fig. 1*). De eigen frequentie van de aldus trillende plaatjes hangt vrijwel alleen af van hun dikte, en wel is zij daarmee omgekeerd evenredig. Het verband tussen frequentie f en dikte D ($f \cdot D$ = constant = K) is voor de beide genoemde sneden in *fig. 2* grafisch voorgesteld. In de practijk gebruikt men plaatjes met een dikte variërend van ca 0,8 mm (AT-plaatje met frequentie 2 MHz) tot ca 0,3 mm (BT-plaatje met frequentie 9 MHz). Voor zenders met frequenties hoger dan 9 MHz gebruikt men meestal geen dunnere plaatjes, doch men laat een plaatje trillen met een oneven harmonische van de afgebeelde trillingsvorm, of men maakt gebruik van schakelingen met frequentievermenigvuldiging [1]).

Daar uit het genoemde verband volgt dat $df/dD = -K/D^2$, ziet men dat bij dunne plaatjes een geringe dikteverandering reeds een aanzienlijke wijziging van de resonantiefrequentie veroorzaakt. Bij een BT-plaatje met f = 9 MHz correspondeert met een dikteverandering van bijv. 10^{-5} mm een frequentieverandering van 320 Hz. Een zender



60505

Fig. 1. Oscillatorplaatjes volgens een AT- of BT-snede zijn vierkant, met een lengte der zijden van 3 tot 50 mm (meestal ongeveer 12 mm). Men laat deze plaatjes trillen met een afschuiving in de diktedoorsnede. Twee tegengestelde fazen van de vervorming zijn gestippeld aangegeven.

*) Philips Laboratories, Inc., Irvington-on-Hudson, N.Y., U.S.A.

[1]) De genoemde onderste grens voor de dikte werd gesteld met het oog op een voldoende bedrijfszekerheid in mobiele, sterk aan schokken blootgestelde installaties voor oorlogstoepassingen. Tegenwoordig worden in mobiele zenders wel plaatjes tot een dikte van 0,15 mm gebruikt. — Over de ligging der AT-, BT- en andere sneden in het kristal, alsmede over de wijze waarop men een plaatje in de gewenste richting kan uitsnijden, zie twee voorafgaande artikelen in dit tijdschrift: W. Parrish, De fabricage van kwarts-oscillatorplaatjes, I. Het realiseren van de gewenste sneden, Philips techn. T. **11**, 326-336, 1949 (No. 11), en II. Contrôle der snijhoeken met behulp van röntgendiffractie, Philips techn. T. **11**, 359-369, 1949 (No. 12).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

die door de 11e harmonische van dit plaatje wordt gestabiliseerd, zou bij de genoemde dikteafwijking ruim 3 kHz naast zijn nominale frequentie komen te werken (niet precies 11 × 0,320 = 3,52 kHz, zoals men misschien geneigd zou zijn uit te rekenen: de „harmonischen" van een trillende plaat staan niet precies als gehele getallen tot elkaar). Om nu

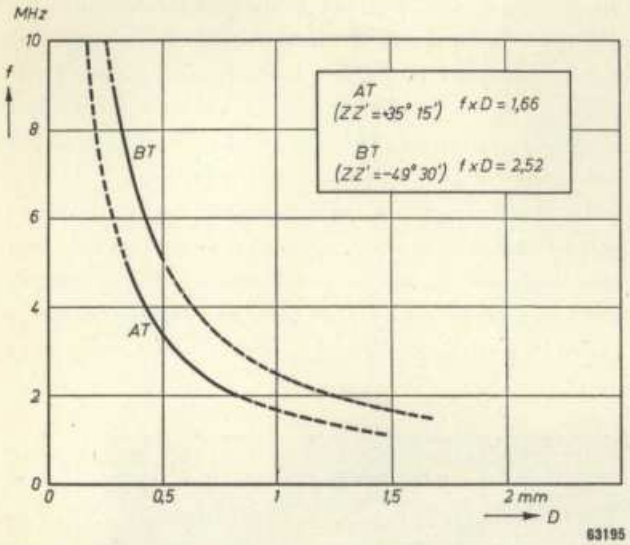


Fig. 2. Verband tussen de resonantiefrequentie f en de dikte D van kwartsplaatjes volgens de AT- resp. de BT-snede. De getrokken gedeelten der krommen geven de globale toepassingsgebieden aan.

alle afgeleverde kristallen rechtstreeks voor bepaalde kanalen in het bedoelde golflengtegebied te kunnen gebruiken (de kanalen zijn bij de hoogste hier bedoelde frequenties ca 100 kHz breed), wordt de vereiste frequentie opgegeven met een tolerantie van bijv. 500 Hz. De dunste kristalplaatjes moeten dan, om bij trillen in de 11e harmonische deze frequentie-afwijking niet te overschrijden, tot op ca $2 \cdot 10^{-6}$ mm nauwkeurig tot de vereiste dikte worden afgewerkt.

In de practijk doet men dit zo, dat men de plaatjes uit het kristal zaagt met een dikte van 1 à 1,2 mm en dan door slijpen terugbrengt tot de vereiste dikte van 0,3 à 0,8 mm. Dat er inderdaad zoveel af moet — of beter: dat men met plaatjes die zoveel te dik zijn moet beginnen — zal verderop nog duidelijk worden.

Aangezien de resonantiefrequentie zo gevoelig is voor een dikteverandering, en omdat men frequenties gemakkelijk met zeer grote nauwkeurigheid kan meten, controleert men het proces van het afslijpen van een kwartsplaatje niet door een precisiemeting van de bereikte dikte, doch rechtstreeks door een bepaling van de bereikte resonantiefrequentie. In het vak spreekt men dan ook van het „afslijpen van een bepaald aantal Hz", hetgeen betekent dat men zoveel afslijpt tot de frequentie met het desbetreffende aantal Hz is gestegen.

Om een kristalplaatje te krijgen dat behoorlijk „actief" is, dwz. dat reeds bij zwakke excitatie met een behoorlijk grote amplitude trilt en weinig inwendig energieverlies heeft, moet het oppervlak geheel gaaf en glad worden geslepen en moeten onder- en bovenvlak van het plaatje exact evenwijdig zijn. Aan de randen echter en vooral in de hoeken moet de dikte een of enkele microns kleiner zijn dan in het middelste gedeelte; zie de sterk overdreven schets in *fig. 3*. Deze vorm is, zoals men empirisch gevonden heeft, gunstig om het mede optreden van andere, ongewenste, trillingsvormen van het plaatje, die de activiteit zouden benadelen, te vermijden.

Het slijpen van een kwartsplaatje kan met de hand geschieden, door het plaatje zacht op een glazen onderlaag te drukken die met een slijpmiddel is bedekt, en het plaatje een zwaaiende, bij voorkeur 8-vormige, beweging over de onderlaag te geven. Hierbij kan men ook de gewenste „contour" van het plaatje verkrijgen, door tijdens het slijpen voor een geschikte drukverdeling over het plaatje te zorgen: men slijpt eerst een tijdlang met twee vingers drukkend op twee diametraal tegenovergestelde hoeken, en daarna een tijdlang met twee vingers op de twee andere hoeken. Hierbij moet men tevens zorgen dat het plaatje gelijkmatig over alle delen van de glazen onderlaag wandelt, opdat deze, die natuurlijk zelf ook enigermate wordt afgeslepen, volkomen vlak blijft.

Voor een massaproductie van kwartsplaatjes, zoals zij in 1942 in de Verenigde Staten van Amerika op zeer korte termijn ter dekking van de oorlogsbehoeften op touw moest worden gezet, was

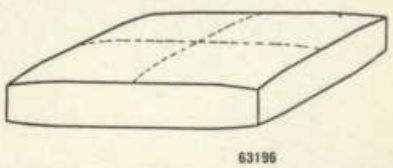


Fig. 3. „Contour" van kwartsplaatje, die vereist is om een grote „activiteit" te verkrijgen. De afwijkingen van de planparallelliteit zijn sterk overdreven getekend.

uiteraard het slijpen met de hand zeer bezwaarlijk, en men heeft dus omgezien naar machinale slijpmethoden. Een oplossing die wat de snelheid alsook wat de bereikte precisie betreft uitstekend voldoet, heeft men gevonden in de planeetradslijpmachine. Deze machine is ontwikkeld door G. C. Hunt en P. R. Hoffman [2]). De hierbij in toepassing te brengen slijpmethoden zijn critisch

[2]) G. C. Hunt, U.S. Patent No. 2314787 (23 Maart 1943); P. R. Hoffman, U.S. Patent 2308512 (19 Juni 1943).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

onderzocht en verder ontwikkeld door de North American Philips Co. in een daartoe opgezette proeffabriek. Zij werden aan het einde van de oorlog in talrijke kwartsfabrieken toegepast [3]).

De planeetrad-slijpmachine

Constructie

Het principe van de planeetrad-slijpmachine bespreken wij aan de hand van *fig. 4*. Op een vast opgestelde ronde ijzeren plaat worden 30 of nog meer te slijpen kwartsplaatjes gelegd, en wel bevinden zich de vierkante plaatjes los in de vijfhoekige gaten die in de tandwielvormige houders zijn uitgespaard. Door een rondsel, draaiend in een centrale boring van de plaat, en een tandkrans, draaiend om de plaat heen, worden de kristalhouders in een draaiende beweging gebracht, die we samengesteld kunnen denken uit een wenteling om hun eigen middelpunt en een wenteling om het middelpunt van de plaat. (Vandaar de naam van de machine; vgl. ook het planeetraderen-drijfwerk, dat bijv. bij sommige van de eerste stoommachines werd gebruikt.) Ieder kristalplaatje beschrijft daarbij een cycloïde-vormige zwaai over de vlakke plaat, welke beweging een aequivalent is van de beweging bij het slijpen met de hand.

De kristalhouders zijn iets dunner dan de te slijpen kwartsplaatjes. Bovenop het geheel legt men een tweede ijzeren plaat, die op de bovenzijde der kwartsplaatjes komt te rusten en die door een arm losjes in positie wordt gehouden (dus niet kan gaan

[3]) Een samenvattende beschrijving is gegeven in: W. Parrish, Machine lapping of quartz oscillator-plates, American Mineralogist **30**, 389-415, 1945. Zie ook: W. L. Bond, hoofdst. IX in R. A. Heising, Quartz crystals for electrical circuits, D. van Nostrand, New York 1946.

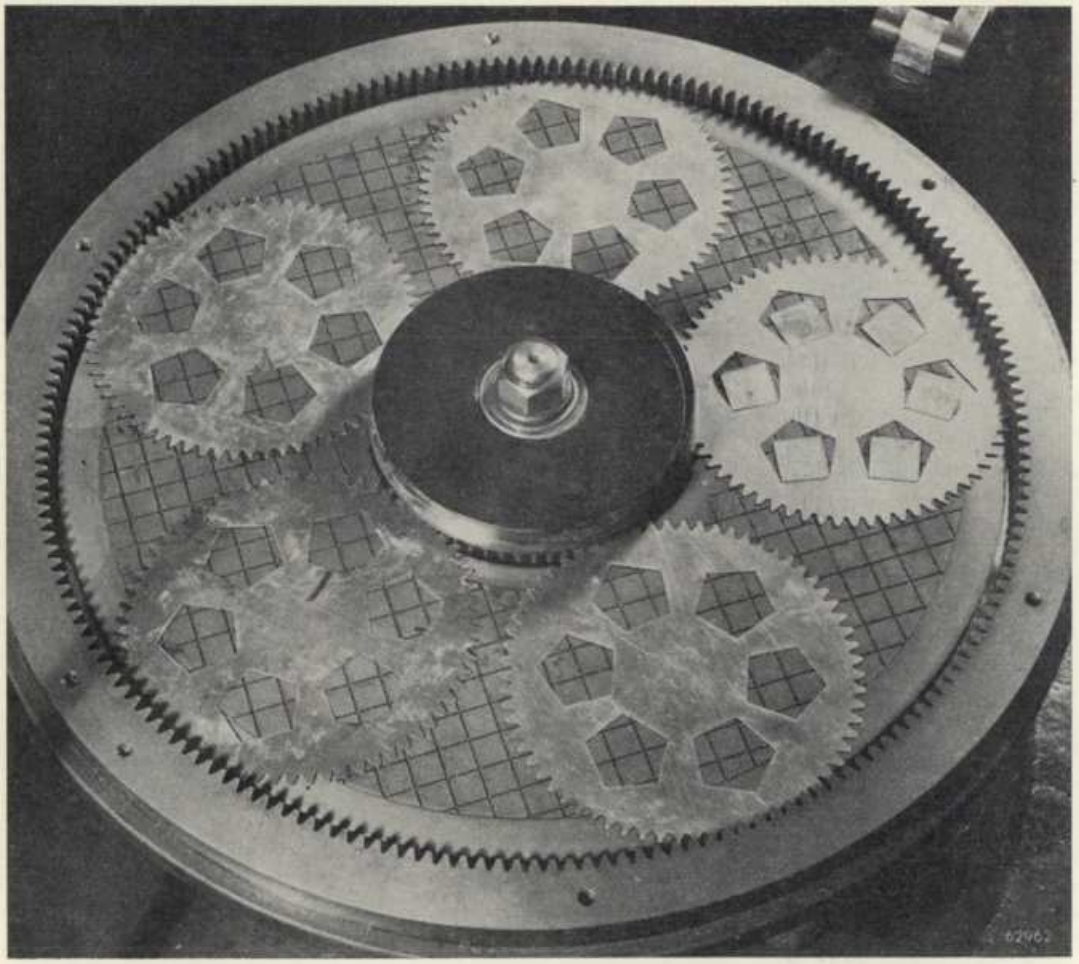


Fig. 4. De planeetrad-slijpmachine, geopend. De van gekruiste groeven voorziene slijpplaat staat vast, de tandkrans en het middenin zichtbare rondsel roteren. De vijf tandwielvormige kristalhouders, die ieder in de vijfhoekige gaten zes af te slijpen kwartsplaatjes kunnen bevatten (slechts één der houders is hier gevuld) beschrijven een samengestelde beweging over de plaat. Bovenop het geheel wordt een tweede slijpplaat gelegd, zodat de 30 kwartsplaatjes aan onder- en bovenkant tegelijk worden geslepen. — Voor kleinere oscillatorplaatjes worden houders met 8 en met 11 gaten toegepast, zodat een lading dan uit 40 resp. 55 plaatjes bestaat.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

meedraaien; zie *fig. 5*). Tussen de beide platen brengt men een suspensie van het slijpmiddel in olie — waarover straks meer zal worden gezegd — via voedingsgaten in de bovenste plaat. Het slijpmiddel hoopt zich op in de groeven die volgens een patroon als van een wafelijzer in beide platen zijn gefraisd. Schuivende over de groeven heen, worden alle 30 kwartsplaatjes gelijktijdig en gelijkmatig afgeslepen, en wel aan boven- en onderkant tegelijk.

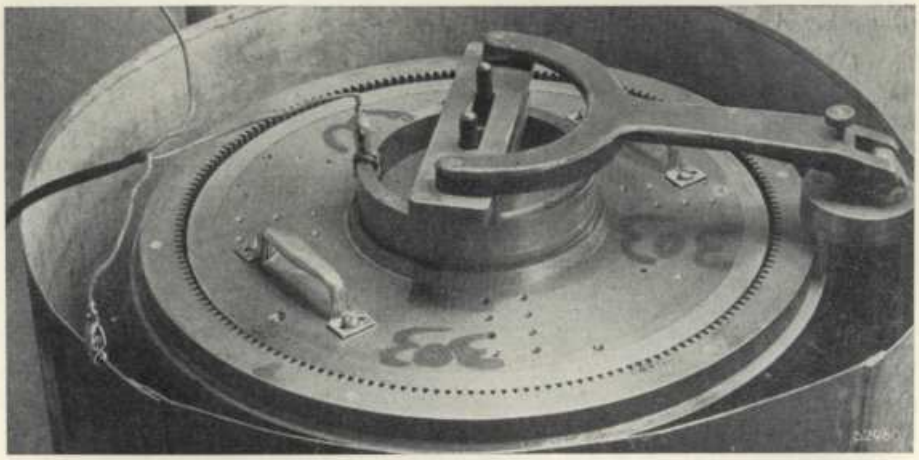


Fig. 5. Planeetrad-slijpmachine in bedrijf. Op de slijpplaat met kristalhouders die in fig. 4 is afgebeeld, is de tweede slijpplaat gelegd, die op de kwartsplaatjes rust. De arm met vork belet deze plaat met de houders mee te gaan draaien. Door de gaten in de bovenste plaat wordt het in olie gesuspendeerde slijpmiddel tussen de twee slijpplaten gebracht. Het rondom het geheel geplaatste scherm vangt het rondspattende slijpmiddel op. De betekenis der electrische aansluitingen wordt hieronder toegelicht.

Nadere beschouwing van de beweging der kwartsplaatjes

Dat men met zulk een machine een enorme productie kan bereiken, zal de lezer voetstoots aannemen, en ook dat men op deze wijze goed aan de eis van parallelliteit der vlakken van een plaatje kan voldoen. Minder voor de hand ligt het dat men met de slijpmachine ook, zonder nabewerking, de in fig. 3 weergegeven typische contour van de kwartsplaatjes kan realiseren. Om dit in te zien, moeten we de beweging van de kwartsplaatjes bij het slijpproces nader beschouwen. Trouwens het is ook op zichzelf de moeite waard deze eigenaardige beweging eens na te pluizen.

Laten we eerst het geval beschouwen dat het rondsel en de tandkrans met hetzelfde toerental in gelijke richting draaien. In dat geval zullen de kristalhouders bewegen alsof zij met rondsel en krans een geheel vormden. Dit komt dus op hetzelfde neer alsof de houders stilstonden en de beide slijpplaten er onder en boven langs roteerden. In verschillende opzichten zal het effect hiervan niet beantwoorden aan wat men wenst.

In de eerste plaats zouden de buitenste kristallen een grotere weg in het slijpmiddel afleggen dan de binnenste, en dus sterker worden afgeslepen. Men zou kunnen menen dat dit niet erg is: het zou betekenen dat bij één slijpgang van de machine een reeks kristallen van verschillende dikte worden verkregen, die men, als men toch in massafabricage werkt, achteraf wel op dikte kan sorteren voor de verschillende kanalen (frequentiegebieden). Zulk een werkwijze zou echter onrationeel zijn: men zou grote voorraden kwartsplaatjes er op na moeten houden, er zou veel administratie bij te pas komen, enz. Voor een vlotte fabricage is het, integendeel, veel beter alle kristallen van één werkgang voor één bepaald kanaal te kunnen maken, hetgeen betekent dat de spreiding in de frequentie der 30 of meer kristallen aan het einde van het slijpen liefst niet meer dan 10 à 15 kHz moet bedragen [4]).

Ten tweede — en dit is een ernstiger bezwaar — zou de eenvoudige, cirkelende beweging in genen dele leiden tot de gewenste contour der kwartsplaatjes; zelfs zouden de boven- en de ondervlakken niet evenwijdig worden doch alle plaatjes zouden wigvormig uitvallen. De plaatjes zouden nl. bij het draaien altijd aan dezelfde kant met vers slijpmiddel in aanraking komen, de vlakken zouden derhalve aan die kant sterker worden afgeslepen dan aan de tegenovergestelde kant.

Ten derde zouden de ijzeren slijpplaten niet lang vlak blijven, daar de sterkere slijpwerking nabij de buitenomtrek natuurlijk ook aan de platen zelf ten goede, of liever ten kwade komt.

[4]) Voor BT-sneden van 6-8 MHz. Deze tolerantie is veel groter dan de in het begin genoemde, omdat er in werkelijkheid op het machinale slijpen toch nog een bewerking volgt waarbij de frequentie een laatste afregeling ondergaat. Hierop komen we in de laatste paragraaf terug.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Stellen we nu hiertegenover de werkelijke beweging der kristalplaatjes. Men laat het rondsel sneller draaien dan de tandkrans, en wel met een ongeveer $2^1/_2$ maal zo groot toerental (in dezelfde richting). Het gevolg is dat elke kristalhouder, met de zes kwartsplaatjes die hij bevat, behalve de „translatie" over het plaatoppervlak ook nog een rotatie om zijn eigen middelpunt uitvoert. De resulterende relatieve beweging kan men zich het beste zo voorstellen dat de houders, om hun eigen midden draaiend, op hun plaats blijven staan, terwijl de beide slijpplaten er weer onder en boven langs glijden. Bij deze beweging wordt elk kwartsplaatje periodiek tussen de binnen- en de buitenrand der slijpplaten heen en weer gevoerd. Alle plaatjes, en ook het gehele oppervlak der slijpplaten, worden thans in vrijwel gelijke mate afgeslepen (over de statistische schommelingen hierin zullen we het hieronder nog hebben).

Ook treedt er geen wigvorm van de plaatjes meer op. Door de draaiing van de kristalhouder krijgen nl. alle vier de kanten van elk plaatje een beurt om het verse slijpmiddel op te vangen. Bovendien voert elk plaatje in de vijfhoekige opening van de houder, waarin het ligt, ook nog een voortschrijdende omklapbeweging uit, aequivalent met een draaiende beweging om zijn eigen middelpunt, zoals in *fig. 6* en het bijbehorende onderschrift wordt toegelicht; de „beurten" van de vier kanten zijn daardoor niet aan bepaalde standen van de kristalhouder gekoppeld, doch een kant krijgt zijn beurt successievelijk in alle mogelijke standen van de houder (met de daarbij behorende, uiteenlopende relatieve snelheden van kristalplaatje en slijpplaat). Alle vier de kanten van het kwartsplaatje zijn dus verzekerd van een volkomen identieke behandeling en men krijgt fraaie planparallel geslepen plaatjes.

Wat de speciale contour van de oscillatorplaatjes betreft: bij de beschreven beweging krijgen de plaatjes vanzelf een vorm die lijkt op de in fig. 3 getekende. De slijpwerking is nl. aan de kanten — waartegen vers slijpmiddel wordt gevoerd — sterker dan in het midden, en aan de hoeken (die tot twee kanten behoren) het sterkst. Aan de kanten en speciaal aan de hoeken worden dus de plaatjes dunner geslepen dan in het midden, en wel in eerste aanleg zelfs in te sterke mate! Het probleem is dus veeleer, het afslijpen van kanten en hoeken te beperken. Men bereikt dit op zeer eenvoudige wijze, nl. door het ringvormige slijpvlak der beide ijzeren slijpplaten iets smaller te maken dan het ringvlak dat de kristalplaatjes bij hun cycloïde-beweging bestrijken. Aan de binnen- en buitenomtrek steekt elk daar aangeland plaatje dus even met een hoek tussen de slijpvlakken uit, en wel, ten gevolge van de draaiing der plaatjes om hun eigen middelpunt, telkens met een andere hoek. Gemiddeld wordt daardoor de slijpwerking op de randen en speciaal op de hoeken iets verminderd, en wel op alle vier hoeken in gelijke mate. Door geschikte keuze van de mate van uitsteken der plaatjes kan men hen met grote benadering de contour geven die voor een goede activiteit gewenst is.

De slijpplaten en de kristalhouders

De beide slijpplaten worden gemaakt van perlietisch gietijzer. Men heeft ook wel proeven gedaan met slijpplaten van gereedschapstaal, doch het voordeel van de grotere hardheid van het staal, die een grotere slijpsnelheid doet verwachten, wordt teniet gedaan doordat in dit materiaal de partikeltjes van het slijpmiddel zich vrijwel niet ingraven; dit proces, dat bij het gietijzer zeer uit-

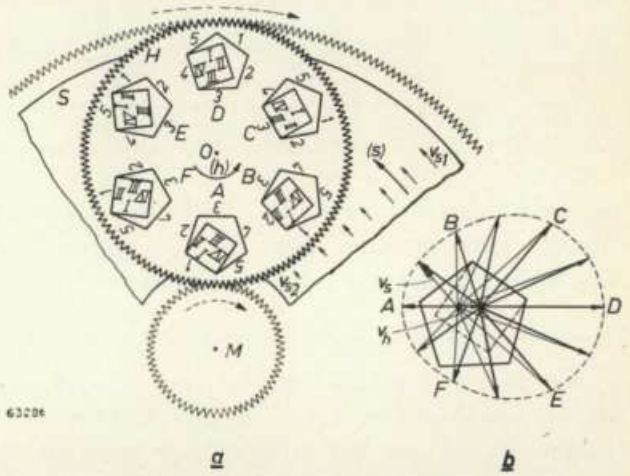


Fig. 6. De relatieve beweging die een kristalhouder H beschrijft ten opzichte van de slijpplaat S, kunnen we opbouwen uit twee componenten: de kristalhouder wentelt om zijn eigen, vaststaande middelpunt O (beweging h); en de slijpplaat roteert om het middelpunt M van rondsel en tandkrans (beweging s). Elk kristal doorloopt achtereenvolgens de standen A - F. Bovendien voert, in de vijfhoekige openingen in de kristalhouder, elk kwartsplaatje een draaiende beweging om zijn midden uit, door telkens met een volgende kant tegen de volgende vijfhoekzijde te gaan liggen. Deze voortschrijdende omklapbeweging komt als volgt tot stand. Werkte op het plaatje alleen de middelpuntvliedende kracht van de beweging h, dan zou het altijd met kant I tegen vijfhoekzijde I blijven liggen. Op het plaatje werkt echter ook de wrijvingskracht k_{hs}, uitgeoefend door de slijpplaten en tegengesteld aan de resulterende richting van de snelheden v_h en v_s; deze kracht is zelfs zo groot dat we de middelpuntvliedende kracht wel kunnen verwaarlozen. Het doorlopen van de posities A - F van het plaatje komt neer op een draaien van de richting van v_s, met gelijktijdige variatie van de grootte hiervan tussen v_{s1} en v_{s2}, terwijl v_h niet van grootte en richting (ten opzichte van de vijfhoek) verandert. In figuur b is de resulterende kracht k_{hs} op het plaatje voor een aantal standen van een gehele wenteling van de kristalhouder getekend. Zodra deze resulterende kracht al draaiende een hoek van het plaatje passeert, klapt het kwartsplaatje om tegen de volgende zijde van de vijfhoek. Men ziet in figuur a dat na een volledige rondgang niet kant I doch kant II tegen de vijfhoekzijde 1 zal liggen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gesproken is („formeren" van de slijpplaten), verhoogt de slijpwerking aanzienlijk. Bovendien heeft staal het nadeel dat men hierin niet zo gemakkelijk de wafelijzergroeven kan aanbrengen. (Een foto elders in dit nummer, pag. 181, laat zien hoe eenvoudig dit bij de gietijzeren platen gaat.) Gladde stalen platen slijpen niet sneller dan de van groeven voorziene gietijzeren platen. Slijpplaten van glas geven een behoorlijke slijpsnelheid, doch hebben het nadeel dat zij door de slijpwerking spoedig hun vlakheid verliezen en dat de kwartsplaatjes en ook de kristalhouders aan de bovenplaat willen blijven kleven als men deze er af tilt.

De voor het slijpen gewenste druk op de kwartsplaatjes krijgt men door de bovenste slijpplaat een geschikt gewicht te geven. Nauw luistert dit niet. Naar gelang van de dikte der kwartsplaatjes en het gebruikte slijpmiddel worden gewichten tussen 7 en 13 kg gekozen, zodat het gewicht per plaatje gemiddeld 200 tot 400 gram bedraagt. Voor een gelijkmatige verdeling van de druk is het van belang dat de plaat geheel vrij op de kwartsplaatjes rust, dwz. dat de arm die de plaat het draaien belet, er geen onsymmetrische verticaal gerichte krachten op overbrengt. In fig. 5 is te zien hoe dit wordt bewerkstelligd.

De beide platen, met een normale slijpmachine vlak geslepen, worden daarna „ingeslepen" door ze in de machine te plaatsen en deze een tijd lang te laten draaien terwijl de kristalhouders vervangen zijn door drie massieve tandwielen. Hierbij wordt hetzelfde slijpmiddel toegepast als naderhand voor het slijpen van de kwartsplaatjes. De grove krassen op de slijpplaten, veroorzaakt door de voorafgaande bewerking met een grofkorrelige slijpschijf, worden dus vervangen door de myriaden voor het oog vrijwel onzichtbare slijpkrasjes die aan de korrelgrootte van het fijne slijpmiddel beantwoorden. De kwaliteit van het oppervlak der slijpplaten verandert dan niet meer van de eerste tot de volgende ladingen kwartskristallen. Bovendien worden bij dit inslijpen de gietijzeren platen ook al tot op zeker hoogte „geformeerd" (zie boven).

De kristalhouders maakt men van „hard weefsel" (bijv. linnen geïmpregneerd met „Philite") of van zink. Het eerstgenoemde materiaal heeft wel de onaangename eigenschap dat het soms krom trekt, maar vergeleken met zink geeft het minder aanleiding tot afbrokkelen van de hoeken der kwartsplaatjes bij de omklapbeweging in de vijfhoekige openingen, het doet de tanden van rondsel en krans minder slijten, en het veroorzaakt minder schade als er eens een houder tijdens het draaien van de machine in het ongerede raakt. De houders moeten op zijn minst 0,05 mm dunner zijn dan de gewenste einddikte der kwartsplaatjes. Onderling mogen de vijf kristalhouders, die tegelijk dienst doen, niet meer dan enkele honderdsten mm in dikte verschillen. Goed afgewerkte kristalhouders kan men ettelijke keren gebruiken voor zij versleten zijn.

Bepaling van het einde van een slijpgang

Aangezien het afslijpen met de planeetradslijpmachine tamelijk snel gaat (een slijpgang duurt slechts enkele minuten) en aangezien de toleranties in de dikte der kwartsplaatjes zo klein zijn, komt het er zeer op aan dat het slijpen op het juiste moment wordt afgebroken. De slijpsnelheid hangt van vele factoren af en de ervaring heeft geleerd dat het niet mogelijk is deze dusdanig in rekening te brengen dat men met een voor de gestelde toleranties voldoende nauwkeurigheid de vereiste slijptijd van te voren zou kunnen bepalen. Het ligt dan voor de hand op dezelfde wijze te werk te gaan als men bij het slijpen van afzonderlijke kristallen met de hand doet: ophouden met slijpen zodra men kan aannemen vrijwel bij de juiste frequentie te zijn aangekomen, de resonantiefrequentie van een (of meer) der kristallen in een oscillator bepalen, voorzichtig verder slijpen naar gelang van het bedrag dat de gevonden frequentie nog beneden de gewenste ligt, en dit procédé enige keren herhalen, totdat men voldoende dicht bij de gewenste frequentie gekomen is. Bij het slijpen met de machine echter is deze werkwijze niet zeer pleizierig. Het meten van de resonantiefrequentie van een kristal is op zichzelf niet bezwaarlijk — het is het werk van enkele minuten —, maar het telkens openen van de machine en het er uit halen van een kristal, is wel wat omslachtig en tijdrovend, en het brengt elke keer een nieuwe kans met zich mee dat de lading in het ongerede geraakt. Er ontstaat zo al gauw een wanverhouding tussen de tijd en hoeveelheid werk besteed aan het eigenlijke slijpen en besteed aan de contrôle.

Een elegante oplossing van het probleem is mogelijk geworden door de verrassende constatering dat men de resonantiefrequentie der kristallen kan meten tijdens het draaien van de machine. Bij het slijpen krijgen de kristallen telkens kleine mechanische schokjes van de korrels van het slijpmiddel. Deze schokjes doen de AT- en BT-plaatjes telkens even vibreren, en wel in de „juiste" trillingsvorm, met de daarbij behorende eigen frequentie. Het gevolg van deze vibratie is het optreden van tegengestelde electrische ladingen op onder- en bovenvlak van het kwartsplaatje (normaal piëzo-electrisch effect), die in het rhythme

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de mechanische trilling van teken wisselen. Hierdoor ontstaat op de twee slijpplaten, die met de er tussen gelegen kwartsplaatjes een condensator vormen, een zwakke wisselspanning met een frequentie gelijk aan de resonantiefrequentie van de kwartsplaatjes (of beter: gelijk aan een soort gemiddelde resonantiefrequentie; hierop komen we aanstonds terug). Zorgt men er voor dat de twee slijpplaten niet buiten de kristallen om ergens kortgesloten worden, dan kan men de wisselspanning met een gevoelige kortegolfontvanger van een normaal type opnemen en de frequentie er van verschuift, naarmate de plaatjes dunner worden, geleidelijk naar hogere frequenties. Is de afstemming bij het vooraf opgegeven geijkte punt gekomen, dan zet de bedienende persoon met een voetschakelaar de slijpmachine stil. (In principe kan men de contrôle en het stopzetten ook automatisch doen gebeuren.)

In *fig.* 7 is de opstelling voor toepassing van deze methode te zien. In fig. 5 zijn de vereiste electrische verbindingen aan de slijpmachine zichtbaar. De verbindingen moeten goed afgeschermd zijn, om zo weinig mogelijk electrische storingen op te vangen, want het signaal van de kristalplaatjes heeft een

Fig. 7. Opstelling van een planeetrad-slijpmachine met apparatuur voor het bepalen van het einde van de slijpgang.

meten. Dit laatste geschiedt door de afstemschaal van de ontvanger, in de buurt van de gewenste eindfrequentie van de slijpgang, te ijken met behulp van een variabele standaard-oscillator, die zelf kan worden geijkt met een standaard-kwartskristal.

Tijdens het slijpen beweegt de bedienende persoon voortdurend de afstemknop een weinig heen en weer ten einde het signaal, dat hij in een hoofdtelefoon hoort, op maximale sterkte te houden. De hiervoor vereiste positie van de afstemknop sterkte van slechts enkele microvolt en zou dus gemakkelijk door storingen of door het ruisen (bij ondoelmatige koppeling) worden overschaduwd.

Terwille van deze methode zal men aan kristalhouders van hard weefsel de voorkeur geven boven die van zink. Al maken de kristalhouders geen contact met de bovenste slijpplaat, de zinken houders geven dan toch een aanzienlijke vergroting van de capaciteit tussen de platen en daardoor een minder grote verhouding van signaal tot geruis.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De frequentiespreiding

Meet men aan het einde van een slijpgang de resonantiefrequentie van alle 30 kristallen in de 5 kristalhouders, dan vindt men geenszins voor alle precies dezelfde frequentie. De frequenties blijken statistisch verdeeld te zijn om een zekere gemiddelde waarde. Gezien het hierboven reeds vermelde feit dat men het liefst alle kristallen van een lading wil kunnen gebruiken voor eenzelfde communicatiekanaal, was de frequentiespreiding in het begin van de massafabricage een ernstig obstakel. Om de naderhand gevonden remedie duidelijk te maken, moeten we eerst het slijpproces nog even wat nader beschouwen.

Het oppervlak van een kwartsplaatje wordt gladder naarmate het gebezigde slijpmiddel fijner van korrel is. Het is gebleken dat men zeker is van de voor een goede activiteit vereiste gladheid, als men slijpt met Al_2O_3 303, d.i. een poeder van Al_2O_3 (amaril) met een korrelgrootte van ca 15 micron. Nu is de slijpsnelheid bij gebruik van zulk een fijn poeder zeer klein, vooral als eenmaal de meeste grove oneffenheden van voorafgaande zaag- of slijpbewerkingen zijn verwijderd. Men komt dan tot onmogelijk lange slijptijden.

De algemeen gevolgde werkwijze is dan ook, dat men een lading van bijv. 30 kristallen in minstens twee, het liefst in drie gangen slijpt. Men begint met een grof poeder van carborundum, waarmede men de diepe zaagkrassen, die elk plaatje aan beide kanten vertoont, en daarmee het grootste deel van de dikte die er af moet, wegneemt. Men gaat door met een iets fijner poeder, dat de door het eerste poeder nagelaten fijnere krassen en oneffenheden snel wegwerkt, dus niet veel dikte meer behoeft weg te nemen. En men besluit met het genoemde fijnste poeder, dat de oneffenheden van het tweede poeder afslijpt en de gewenste gladheid aan het oppervlak geeft.

Volgens onze ervaringen is het volgende een zeer doelmatig schema:

1) Slijpen met SiC 320, d.i. carborundum met een korrelgrootte van 31,5 μ, tot de einddikte plus 0,27 mm. Dit duurt ongeveer 4 minuten.
2) Afslijpen van ongeveer 0,2 mm dikte met SiC 600 (korrelgrootte 17,5 μ), in ca 6 minuten.
3) Slijpen gedurende ca 12 minuten met Al_2O_3 303, waardoor nog ongeveer 0,07 mm wordt afgenomen.

Rekent men dat bij de eerste slijpgang aan weerskanten van het kwartsplaatje ca 0,1 à 0,2 mm verwijderd moet worden, dan komt men tot een totale af te slijpen dikte van 0,4 à 0,7 mm, zoals in de inleiding reeds werd vermeld.

Het is noodzakelijk de drie slijpgangen op verschillende machines uit te voeren, ten einde een verontreiniging van het fijnste slijpmiddel door resten van de voorafgaande ten enenmale uit te sluiten. Opdat de voor de eerste slijpgang dienende machine niet telkens geruime tijd behoeft stil te staan, moet men met een groep van vijf of zes machines werken: één voor slijpgang (1), één of twee voor slijpgang (2), en drie voor slijpgang (3). De eerste machine laat men draaien met een relatief zware bovenste slijpplaat en met een vrij grote snelheid (toerental van de tandkrans 120-150 omw/min). De laatste drie machines hebben de lichtste bovenplaat en de kleinste snelheid (35-60 omw/min).

Met zulk een stel machines en met deze werkwijze kan men in een drie-ploegen-stelsel 5000 à 6000 geslepen kwartsplaatjes per dag produceren.

Bij deze werkwijze werd, onder bepaalde omstandigheden, aan het einde van de derde slijpgang van een lading een spreiding der frequenties van de kristallen gevonden van 60 à 125 kHz (verschil tussen grootste en kleinste voorkomende resonantiefrequentie), in enkele gevallen zelfs tot 200 kHz. Dit is veel meer dan men voor de practijk zou willen toelaten. Slechts als de spreiding beneden de reeds eerder genoemde grens van ca 15 kHz blijft, kunnen alle kristallen van een lading gemeenschappelijk de laatste bewerking (zie hieronder) ondergaan en behoeven zij niet meer te worden gesorteerd voor verschillende communicatiekanalen.

Het is plausibel dat de spreiding in de kristaldikte die na de eerste en de tweede slijpgang aanwezig is, niet veel kwaad kan doen. Men gaat voor het samenstellen van de lading voor de eerste slijpgang natuurlijk uit van plaatjes die niet veel in dikte verschillen (bijv. hoogstens 0,1 mm, wat men met een micrometer gemakkelijk kan controleren), en gezien de symmetrie van de opstelling kan de spreiding in de dikte bij het slijpen dan niet boven een zekere grens komen [5]). Om een inzicht te krijgen in het ontstaan en de aard van de spreiding is het daarom voldoende de situatie vóór, tijdens en na de laatste slijpgang te beschouwen.

Dit is gedaan in een onderzoek te Dobbs Ferry, waarbij meer dan 10 000 kwartsplaatjes onder het slijpen herhaaldelijk werden gemeten, en waarbij diverse slijptechnieken werden toegepast. Het belangrijkste resultaat was de bevinding dat de spreiding van de plaatjes van één kristalhouder gewoonlijk klein is, nl. ongeveer 10 à 20 kHz (bij 8 MHz), en dat de vaak optredende grote spreiding binnen een lading te wijten is aan verschillen tussen de kristalhouders. Deze constatering leidde tot een werkwijze ter

[5]) De spreiding blijft binnen de foutengrens van rechtstreekse diktemetingen zoals men die in de fabricage kan uitvoeren. Het zou dus geen zin hebben te trachten de kristalplaatjes voor de volgende slijpgangen door werkelijke diktemetingen nog nauwkeuriger te groeperen dan het slijpproces zelf al doet. Frequentiemetingen zouden dit wel mogelijk maken, maar zijn te tijdrovend voor zulk een tussentijdse bewerking, en bovendien trillen in de vroege stadia van het slijpen de meeste kristalplaatjes nog niet (zie hieronder, bij fig. 8).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

vermindering van de spreiding, een werkwijze eenvoudig genoeg om in de fabriek in toepassing te kunnen worden gebracht. De derde slijpgang wordt op een bepaald tijdstip, kort voor het te verwachten einde van de slijptijd, onderbroken, alle kristallen worden uit de machine genomen, ondersteboven gekeerd en dan op een andere wijze over de vijf kristalhouders verdeeld, zodanig dat nu elke kristalhouder plaatjes van de het meest uiteenlopende houders bevat („transpositie"). Slijpt men nu verder, dan worden de grote verschillen zeer spoedig genivelleerd, daar in elke houder de dikste plaatjes verreweg het sterkste afgeslepen worden. Het slijpen mag echter niet lang meer duren, daar zich anders opnieuw een grotere onderlinge spreiding van de houders kan ontwikkelen! Het tijdstip van de transpositie moet dus zorgvuldig zijn gekozen, aangepast bij alle omstandigheden van het slijpproces. Gevonden werd dat een transpositie bij een gemiddelde dikte der plaatjes van $0{,}015 \pm 0{,}005$ mm boven de gewenste eindwaarde het meest geschikt is. Transponeert men iets later, dan zal de nivellering binnen elke houder, vóór men de voorgeschreven einddikte bereikt, niet voldoende zijn.

In *fig. 8* is voor een typisch geval de frequentieverdeling van een lading kristallen op verschillende tijdstippen weergegeven. Het effect van de transpositie is goed te zien. Dank zij dit hulpmiddel kan men er op rekenen dat niet meer dan ca 3-5% van de kwartsplaatjes buiten het toegelaten frequentiegebied ter breedte van 15 kHz zullen vallen.

De frequentiespreiding heeft uiteraard tot gevolg dat men bij de boven beschreven methode ter bepaling van het einde van de slijpgang te maken krijgt met signalen die een gehele band van frequenties beslaan. De sterkte van het signaal blijkt echter bij de nominale frequentie toch een voldoend scherpe piek te vertonen om de methode goed te kunnen toepassen. Men kan de frequentieverdeling van het signaal opnemen met behulp van een registreerapparaat en heeft dan ineens een aardig overzicht van de spreiding. *Fig. 9* geeft als voorbeeld een aldus opgenomen verdelingskromme; de onmiddellijk na de opname gemeten frequenties der individuele kristallen van de lading zijn onder de kromme uitgezet.

Definitieve afregeling van de kristalfrequenties door etsen

De met de planeetrad-slijpmachine geslepen kwartsplaatjes hebben resonantiefrequenties die bijv. nog ca 10 à 25 kHz beneden de gewenste waarde liggen. De definitieve afregeling tot de gewenste waarde, binnen de tolerantie van 500 Hz (of nog minder, naar gelang van de eisen), heeft

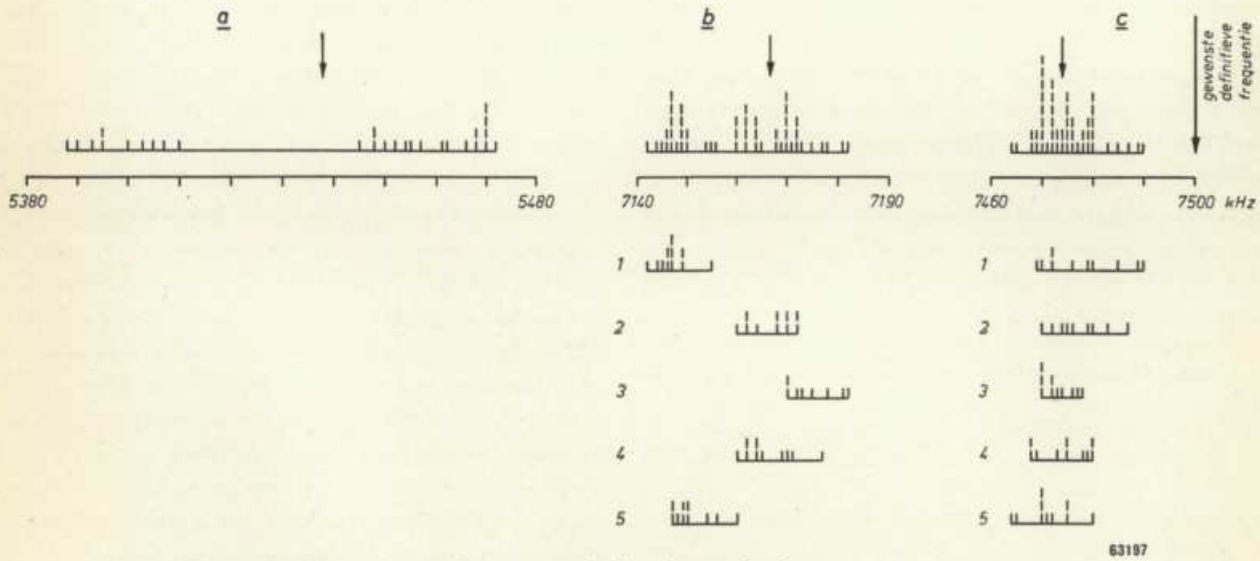


Fig. 8. De frequentiespreiding van een lading kwartsplaatjes,
a) aan het einde van de tweede slijpgang;
b) na het grootste gedeelte van de derde slijpgang, nl. op het tijdstip van transponeren; de vijf kristalhouders tonen ieder een relatief kleine spreiding, doch zij verschillen onderling sterk;
c) na transpositie en beëindiging van de derde slijpgang.
Elk streepje in de verticale lijnen vertegenwoordigt één kwartsplaatje. Na de tweede slijpgang zijn nog niet alle plaatjes actief genoeg om te oscilleren. Alleen de oscillerende kunnen worden gemeten, vandaar dat men in *b* en *c* meer plaatjes ziet dan in *a*. In werkelijkheid bevat een lading na de derde slijpgang vaak minder plaatjes dan na de eerste en tweede, doordat er bij het slijpen wel eens enkele kwartsplaatjes breken, die men dan niet aanvult, om de in noot [6]) toegelichte reden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

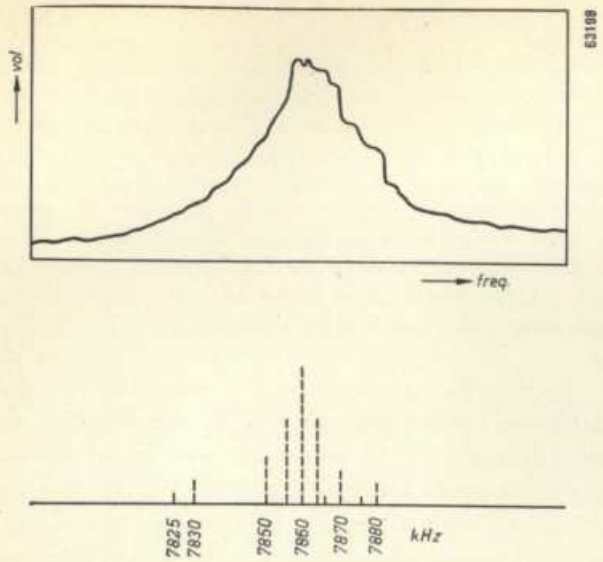


Fig. 9. *a*) Registrogram van de sterkte van het signaal geleverd door een lading kwartsplaatjes in een planeetrad-slijpmachine, als functie van de afstemfrequentie van de ontvanger.
b) Individuele resonantiefrequenties der kwartsplaatjes van (*a*), gemeten onmiddellijk na opnemen van het registrogram en stopzetten van de machine.
Elk streepje is één kwartsplaatje.

voor elk kristalplaatje individueel plaats. In den beginne gebeurde de individuele afregeling door voorzichtig met de hand verder te slijpen (eventueel bediende men zich van een kleine slijpmachine voor één plaatje). Het bleek echter na enige tijd, dat de aldus afgewerkte en door alle contrôle-instanties goedgekeurde kristalplaatjes, onverschillig of zij gebruikt waren of slechts in voorraad gehouden, niet meer aan de specificaties beantwoordden: hun resonantiefrequentie was hoger, hun activiteit geringer geworden. De situatie die door dit onverwachte o u d e r i n g s v e r s c h i j n s e l werd geschapen, kreeg op een gegeven ogenblik (in 1943) het aanzien van een catastrophe: millioenen reeds goedgekeurde en in de legermagazijnen der U.S.A. bewaarde oscillatorplaatjes bleken onbruikbaar te zijn geworden!

Een uitvoerig onderzoek [6]) leidde tot de conclusie dat de oudering waarschijnlijk te wijten is aan een geleidelijk afbrokkelen of rekristalliseren van de buitenste laag van het kwartsplaatje. Deze laag ondergaat bij het slijpen, zelfs met de fijnste slijpmiddelen, een behandeling die, op submicroscopische schaal bekeken, zeer ruw moet worden genoemd: de laag bevat na deze behandeling talrijke submicroscopische spleten, heuvels, overhangende rotspunten enz. In de loop van de tijd, en vooral door toedoen van geadsorbeerd vocht, verweren de uitsteeksels, de effectieve dikte van het plaatje wordt kleiner, weliswaar slechts fracties van een micron, maar dit brengt toch al een aanzienlijke stijging van de resonantiefrequentie mee. Tevens veroorzaken de kwartspartikeltjes die losjes op het oppervlak blijven zitten een zekere demping, die de activiteit benadeelt.

Het verschijnsel wordt, zoals men vervolgens vond, onschadelijk gemaakt door de voor afbrokkeling vatbare laag kwarts reeds vóór de keuring van het plaatje zo goed mogelijk te verwijderen. Dit geschiedt door e t s e n in oplossingen van ammoniumbifluoride, van bepaalde concentratie en temperatuur. De invloed van het etsen kan door een eenvoudige proef worden gedemonstreerd. Men slijpt van een reeks kristalplaatjes met een tamelijk grofkorrelig slijpmiddel (bijv. SiC 320) 50 kHz af, zodat een sterk geschonden oppervlaktelaag ontstaat, en etst hiervan een dikte af variërend van 0 tot 10 kHz. De oudering, zo zij optreedt, verloopt bij het mishandelde oppervlak tamelijk vlug. In *fig. 10* is de geconstateerde oudering grafisch voorgesteld: de niet geëtste plaatjes liepen in 5 dagen met 1,5 kHz op, de plaatjes waarvan 10 kHz afgeëtst was vertoonden, na een zeer geringe frequentiestijging in de eerste 3-4 uren, generlei oudering meer.

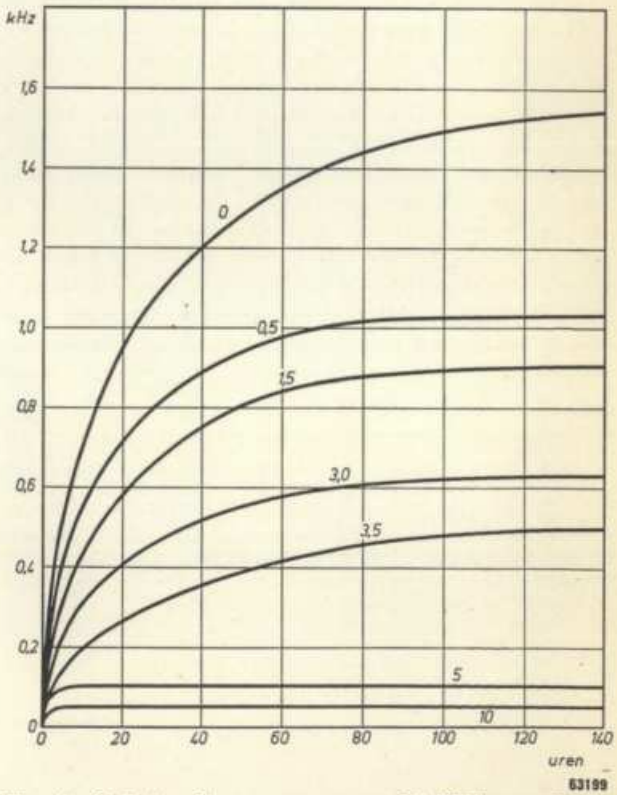


Fig. 10. Oudering die men waarneemt bij BT-kwartsplaatjes voor ca 8 MHz, waarvan 50 kHz is afgeslepen met een grof slijpmiddel (SiC 320), en waarvan vervolgens een laagje variërend van 0 tot 10 kHz is afgeëtst. Uitgezet is de gemeten resonantiefrequentie als functie van het aantal uren verstreken sinds het etsen.

[6]) Cl. Frondel, Final frequency adjustment of quartz oscillator-plates, American Mineralogist **30**, 416-451, 1945.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In de U.S.A. bevatten thans de specificaties voor kwarts-oscillatoren steeds de eis dat van de afgewerkte AT- en BT-plaatjes een laatste laag van op zijn minst 1 μ dik moet zijn afgeëtst [7]). Dank zij de beperkte frequentiespreiding kan men alle kristallen van één lading van de planeetrad-slijpmachine het grootste gedeelte van deze etsing gezamenlijk laten ondergaan; men moet daarbij natuurlijk rekening houden met die plaatjes die de kleinste afwijking van de definitieve frequentie hebben. De definitieve afregeling geschiedt door individueel afetsen van elk plaatje, onder voortdurende contrôle van de resonantiefrequentie.

In dit verband is het gewenst er nog even op te wijzen dat bij het slijpen en bij het etsen, dat immers neerkomt op het wegnemen van materiaal, de resonantiefrequentie altijd wordt verhoogd, zodat de gewenste frequentie slechts van één zijde benaderd kan worden. Er bestaat ook de mogelijkheid de frequentie van een gegeven kwartsplaatje te verlagen, nl. door het bloot te stellen aan een intensieve röntgenstraling. Dit merkwaardige verschijnsel heeft men getracht in practijk te brengen (zie het in [6]) aangehaalde artikel). Het bleek echter dat de teweeggebrachte frequentieverlaging, tezamen met een daarbij optredende donkere kleuring van het kwarts, na enige tijd en vooral bij hoge temperatuur weer verdween. Dit was jammer, want de methode had grote voordelen; niet alleen kon men daarmee kristallen herstellen die over hun nominale frequentie heen geslepen of geëtst waren, maar men kon de kristalplaatjes ook bestralen terwijl zij in een buisoscillator in werking waren, en zodoende kon men het naderen tot de gewenste frequentie continu op een meetinstrument volgen.

Inmiddels heeft men deze mogelijkheid opnieuw gekregen op een geheel andere wijze. Bij de meeste heden vervaardigde oscillatorplaten worden de vereiste electroden aangebracht door de beide kristaloppervlakken te metalliseren, hetzij door opdampen, hetzij door chemisch neerslaan van een metaal uit een oplossing. Het metaallaagje draagt bij tot de massa van het trillende kristal en bepaalt daardoor mede de resonantiefrequentie er van. Aldus is men in staat de frequentie zowel naar boven als naar beneden een weinig te verschuiven door van het laagje iets af te nemen of het iets dikker te maken, zonder dat men iets aan de kwartsplaat zelf verandert. Bij het opbrengen door verdampen heeft men ook, analoog aan de bestralingsmethode, de mogelijkheid het naderen tot de gewenste frequentie continu te controleren.

De volgens de etsmethode afgewerkte plaatjes zijn wat hun frequentie betreft nog niet volmaakt stabiel. Waar extreme eisen aan de stabiliteit worden gesteld, dus elk spoor van oudering dient te worden vermeden, schijnt men volgens recente onderzoekingen de beste resultaten te verkrijgen door het kwartsplaatje tot 500 °C, d.i. vlak onder het overgangspunt van α- in β-kwarts, te verhitten en het dan uiterst langzaam te laten afkoelen [8]).

Hiermee besluiten wij het overzicht dat wij in drie artikelen hebben gegeven van de ontwikkeling van de fabricage van kwartsoscillatoren in de oorlogsjaren. In grote trekken zijn de methoden die door de thans nog werkende kwartsfabrieken worden gevolgd, gelijk aan die we hier hebben beschreven. De aantallen plaatjes die men produceert zijn uiteraard heel wat geringer geworden. Juist het feit echter dat men thans over zulke doelmatige fabricagemethoden beschikt, kan niet anders dan stimulerend op het gebruik van kwartsplaatjes werken, zodat de vredestoepassingen dezer plaatjes voortdurend in belang toenemen.

[7]) Bij BT-plaatjes voor 9 MHz betekent dit, zoals men uit de bij fig. 2 aangegeven formules afleidt, dat de frequentie met ruim 32 kHz stijgt. Bij een lading kwartsplaatjes voor een nominale frequentie in de buurt van 9 MHz moet dus het einde van de laatste slijpgang met de planeetrad-slijpmachine, in kHz uitgedrukt, nog aanzienlijk verder beneden de definitieve frequentie worden gelegd dan in de eerder genoemde voorbeelden.

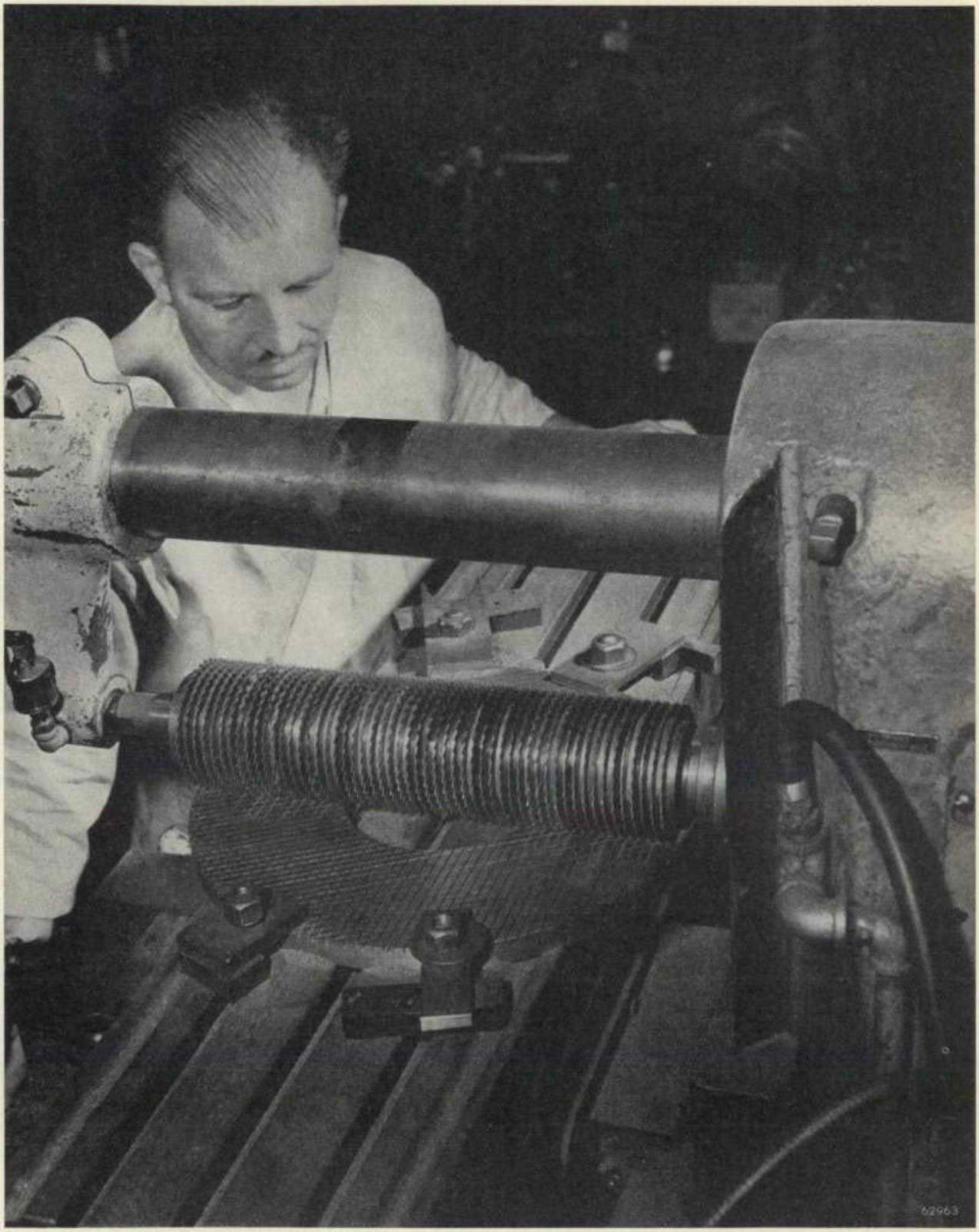
[8]) A. C. Prichard, M. A. A. Druesne en D. G. McCaa, Acta Cryst. **3**, 73, 1950 (No. 1).

Samenvatting. De uit een kwartskristal gezaagde ruwe AT- en BT-oscillatorplaatjes, ter dikte van 1,0 à 1,2 mm, worden in drie stappen, met telkens fijnkorreliger slijpmiddel, afgeslepen tot een dikte van 0,3 à 0,8 mm, naar gelang van de gewenste resonantiefrequentie. Deze bewerking kan machinaal geschieden met de planeetrad-slijpmachine, waarmee 30 à 55 vierkante plaatjes tegelijk worden geslepen. Tevens wordt daarbij automatisch aan de plaatjes de contour gegeven die noodzakelijk is voor een goede „activiteit". Met zes van deze machines kunnen in minder dan een kwartier drie ladingen plaatjes worden afgewerkt. Het moment waarop de plaatjes de vereiste dikte hebben verkregen, wordt bepaald door tijdens het draaien van de machine de resonantiefrequentie der plaatjes te meten; dit is mogelijk doordat de kristalplaatjes door het slijpproces voortdurend in trilling worden gebracht en daarbij door het piëzo-electrische effect een zwakke wisselspanning op de slijpplaten veroorzaken. Door een transpositie der plaatjes van een lading op een bepaald tijdstip in de derde slijpgang wordt de frequentiespreiding der geslepen plaatjes binnen ca 15 kHz (bij 8 MHz) gehouden. Na het slijpen wordt van de plaatjes in een gezamenlijk bad op zijn minst 1 micron afgeëtst, waarna elk plaatje door individueel verder etsen nauwkeurig tot de nominale frequentie wordt afgeregeld. Aldus afgewerkte plaatjes zijn zo goed als vrij van ouderingsverschijnselen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET MAKEN VAN SLIJPPLATEN VOOR DE KWARTSFABRICAGE



In de gietijzeren platen van de planeetrad-slijpmachine, waarmee kwarts-oscillator-plaatjes in de massafabricage worden geslepen (zie het artikel hierover in dit nummer), worden twee stellen elkaar kruisende groeven gefraisd, waarin het slijpmiddel zich kan ophopen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

METING VAN DE ONTIONISATIETIJD VAN DIODEN EN TRIODEN MET GASVULLING

door K. W. HESS. 621.314.67:621.385.38:537.567.569

De lading van de ionen welke in een ontladingsbuis met gasvulling zorgen voor de compensatie van de door de electronen gevormde ruimtelading, wordt voornamelijk aan de wanden en electroden van de buis geneutraliseerd. Na afloop van de stroomdoorgang is pas na een eindige tijd de buis weer ionenvrij. Wil men zulk een buis bij hogere frequenties gebruiken, dan wordt door deze eindige ontionisatietijd een grens gesteld aan de toelaatbare frequentie.

Inleiding

In een vacuumbuis wordt de stroom (bij niet te hoge spanningen op de buis) voornamelijk bepaald door de ruimtelading der electronen. In een buis met gasvulling compenseren de positieve gasionen deze ruimtelading. Het is dan ook mogelijk bij lage spanning door deze buizen grote stromen te sturen. In dit artikel zullen wij ons speciaal bezighouden met de invloed van de ionen op de eigenschappen van met gas gevulde dioden en trioden (ook wel relaisbuizen of thyratrons genaamd), en niet spreken over de verschijnselen welke zich voordoen bijv. in TL-lampen, neonbuizen enz.

Als de spanningen tussen de electroden zo laag zijn dat er nog geen gasontlading tot stand is gekomen, is de stroomdoorgang door een met gas gevulde buis vergelijkbaar met die door een vacuumbuis. Zodra echter de anodespanning een bepaalde waarde, de ontsteekspanning, overschrijdt, gaat de buis als gasbuis functionneren. In een diode heeft deze ontsteekspanning een vrijwel constante waarde, in een triode is zij sterk afhankelijk van de roosterspanning. Dit betekent dat, bij elke waarde van de anodespanning (mits deze niet te klein is), er in een triode een bepaalde kritische roosterspanning is aan te geven, waarboven de buis ontsteekt. In tegenstelling tot een vacuumtriode is (behalve in enkele zeldzame gevallen) na de ontsteking de invloed van de roosterspanning op de stroomdoorgang practisch nihil geworden. Dit komt doordat om het rooster, als dit negatief is, een ruimtelading van positieve ionen wordt opgebouwd, die de invloed van de negatieve potentiaal te niet doet.

Na afloop van de stroomdoorgang zullen de gasionen niet dadelijk alle geneutraliseerd zijn. In het algemeen geldt, dat het aantal ionen σ in de buis volgens een exponentiële functie afneemt met de tijd t:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{t}{\tau_0}}.$$

De karakteristieke tijd τ_0, die in deze formule voorkomt, kunnen wij de ontionisatietijd noemen. Hij hangt natuurlijk af van de mogelijkheden welke er voor de ionen bestaan om hun lading af te geven. Dit gebeurt voornamelijk aan de wanden en electroden van de buis, en de wijze van constructie van de buis zal er dus veel invloed op hebben. De ontionisatietijd is des te korter, naarmate de spanningen op een of meer electroden minder positief of zelfs, zoals vaak voorkomt, negatief worden, terwijl bij een grote voorafgaande anodestroom τ_0 groter is dan bij een kleine voorafgaande stroom. Ten slotte neemt bij toenemende gasdruk in de buis τ_0 toe [1]).

Voor de practijk van belang is niet de ontionisatietijd zoals wij die hier gedefinieerd hebben, maar wel de zg. effectieve ontionisatietijd, τ_{eff}, dat is de tijd welke na afloop van de stroomdoorgang moet verstrijken, willen de overgebleven ionen geen invloed op de werking van de buis meer uitoefenen. Het zal duidelijk zijn dat τ_{eff} voor elk soort toepassing van de buis een andere waarde kan bezitten [2]). Wij zullen van de ontionisatietijd vooral dan iets merken, wanneer de buis periodiek werkt, zoals bijv. in een gelijkrichterschakeling of in een relaisschakeling, wanneer bij elke ontsteking als gevolg van de vorige stroomdoorgang nog ionen in de buis kunnen zijn.

Bekijken wij eerst het geval van een diode. Er bestaat, zoals boven reeds is aangeduid, een bepaalde waarde van de anodespanning waarbij de buis ontsteekt. Deze ontsteekspanning hangt

[1]) Zie voor dit alles bijv.: H. B. de Knight, Proc. Inst. Electr. Engrs **96**, Part III, 257, 1949.

[2]) Waar in de literatuur allerlei verschillende definities van de ontionisatietijd voorkomen, wordt meestal een of andere effectieve ontionisatietijd bedoeld. De essentie van het begrip ontionisatietijd ligt in onze oorspronkelijke definitie wel besloten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in vele gevallen af van het aantal ionen in de buis, en wel is hij lager naarmate er meer ionen zijn. Wanneer in een bepaalde toepassing geëist wordt dat de ontsteekspanning boven een bepaalde waarde ligt, zal men er voor moeten zorgen dat het tijdverschil tussen twee opeenvolgende ontstekingen zo groot is dat de ontsteekspanning, die bij de tweede ontsteking door de aanwezigheid van ionen als gevolg van de eerste stroomdoorgang verlaagd is, niet beneden deze waarde ligt. Met andere woorden, er bestaat een effectieve ontionisatietijd, die een bovenste grens stelt aan de frequentie waarmede men de buis kan bedrijven.

Bij een triode treedt een dergelijk effect op. De ruimteladingswolk die tijdens een stroomdoorgang om het rooster ontstaat, verdwijnt na afloop van de stroomdoorgang niet dadelijk. Dientengevolge zal een variatie van de roosterpotentiaal eerst na een zekere effectieve ontionisatietijd weer invloed op de werking van de buis kunnen uitoefenen. De buis zal, voordat deze tijd verstreken is, bij aanbrengen van een voldoend hoge anodespanning reeds herontsteken wanneer de roosterspanning nog beneden de kritische spanning ligt welke bij die anodespanning behoort. Er bestaat dus weer een bovenste grens voor de frequentie waarbij we de ontsteking van de buis met behulp van zijn roosterspanning kunnen regelen.

Voor alle soorten gelijkrichtbuizen, dioden zowel als trioden, heeft de eindige ontionisatietijd nog het nadeel dat de kans op terugslag in de buis wordt vergroot. Wanneer nl. de anodespanning sterk negatief is als er nog veel ionen in de buis zijn, zal gemakkelijk een glim-(soms boog-)ontlading kunnen optreden, waarbij de electronenstroom van de anode naar de kathode loopt. Ook voor dit effect kan men een effectieve ontionisatietijd definiëren, die in het algemeen veel korter is dan de hierboven beschouwde tijden. We zullen ons met dit verschijnsel niet verder bezighouden.

In dit artikel zullen we enkele methoden bespreken om de ontionisatietijd in verschillende aan de practijk ontleende gevallen te meten. Wij zouden onze metingen kunnen uitvoeren met een variabele frequentie, en bepalen bij welke frequentie de buis ophoudt naar behoren te functionneren. Wegens het grote vermogen dat gewoonlijk wordt opgenomen, en wegens de technische moeilijkheid, voor elke gewenste frequentie een meetopstelling te maken, is dit practisch niet goed doenlijk. Wij maken liever gebruik van een schakeling die bij de netfrequentie een toestand levert die vergelijkbaar is met een bedrijf met de gewenste frequentie, en bepalen τ met behulp van een oscillograaf.

Meting van het verloop van de ontionisatie in een triode met behulp van de roosterstroom

Allereerst beschrijven wij een methode om in een triode op snelle eenvoudige wijze de orde van grootte van de ontionisatietijd te bepalen. Wij maken hierbij gebruik van een directe indicator van de hoeveelheid positieve ionen in de buis, nl. de roosterstroom. In de anodekring van de te onderzoeken triode brengen we een wisselspanning aan, terwijl het rooster over een weerstand aan een negatieve spanningsbron is aangesloten. De negatieve spanning is zo groot, dat de buis ook tijdens de positieve halve periode van de wisselspanning in de anodekring zonder meer niet ontsteken kan. Op een tijdstip t_1 gedurende deze halve periode krijgt het rooster een spanningsimpuls, met behulp van een piektransformator, zoals die bijv. beschreven is in een kortgeleden in dit tijdschrift verschenen artikel [3]). Deze spanningsimpuls is zo gekozen dat de buis ontsteekt. Er gaat stroom lopen, en de anodespanning daalt tot de zg. boogspanning V_{arc} (*fig. 1a*). Wanneer de wisselspanning op het tijdstip t_2 beneden de boogspanning daalt, gaat de buis weer uit. De roosterspanning, die na de zeer kort durende impuls weer tot de oorspronkelijke negatieve waarde zou willen dalen, wordt door het spanningsverval dat de door de ionen veroorzaakte roosterstroom in de roosterweerstand veroorzaakt, op een in het algemeen positieve waarde, iets lager dan de boogspanning, vastgehouden. De spanning op het rooster is dus een maat voor de ionenstroom. Na doving van de buis blijven nog enige tijd ionen in de buis aanwezig, hun aantal neemt echter geleidelijk af, en de roosterspanning daalt langzaam tot zijn oorspronkelijke negatieve waarde (fig. 1*b*). Deze wordt bereikt op het tijdstip t_3. t_3-t_2 is dus een maat voor de ontionisatietijd.

Door de frequentie van de anodewisselspanning laag te houden (de netfrequentie is zeer geschikt), kunnen we er voor zorgen dat t_3 valt binnen de negatieve halve periode van de anodewisselspanning. In de volgende periode van deze spanning herhaalt het gehele verschijnsel zich, de buis zal ontsteken op het tijdstip t_1', als op het rooster weer een spanningsimpuls wordt gezet. Door de roosterspanning op een oscillograaf zichtbaar te maken, kunnen we gemakkelijk de orde van grootte van de ontionisatietijd bepalen. In *fig. 2* zijn enkele van de aldus verkregen oscillogrammen gereproduceerd.

[3]) K. W. Hess en F. H. de Jong, Het regelen van de lichtsterkte van fluorescentielampen met behulp van relaisbuizen, Philips techn. T. **12**, 83-94, 1950 (No. 3).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Willen wij nauwkeurig de effectieve ontionisatietijd voor een bepaald in de practijk voorkomend geval meten, dan moeten wij onze toevlucht nemen tot andere methoden, waarvan wij er enige hieronder zullen bespreken.

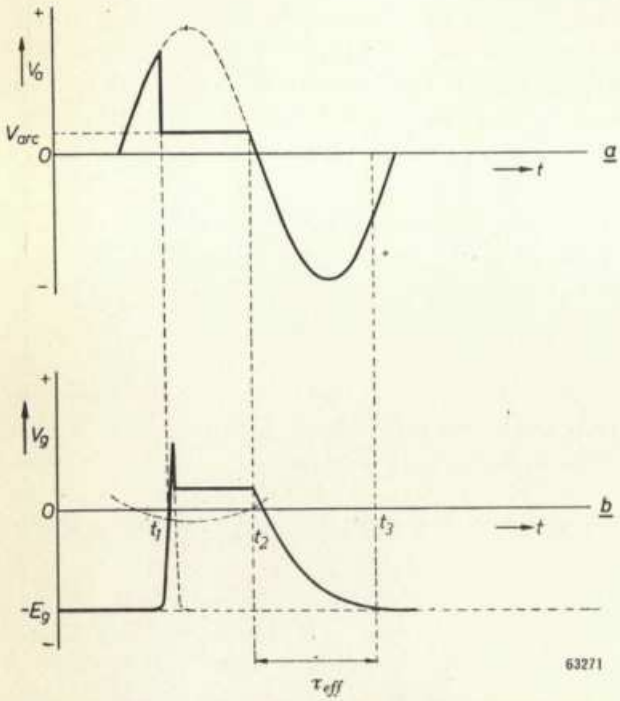


Fig. 1. Het verloop van: *a*) de anodespanning, *b*) de roosterspanning van een met wisselstroom gevoede gastriode. Op het tijdstip t_1 krijgt het rooster, dat normaal op een negatieve voorspanning $-E_g$ staat, een spanningsimpuls, waardoor de buis ontsteekt. De anodespanning daalt dan tot de boogspanning V_{arc}. Op het tijdstip t_2 gaat de buis uit, daar de anodewisselspanning dan beneden V_{arc} daalt. De spanning op het rooster is tijdens de brandperiode ten gevolge van de positieve ionenstroom op een bepaalde waarde (in het algemeen iets lager dan de boogspanning) vastgehouden. Na doving van de buis verdwijnen de ionen geleidelijk en daalt de roosterspanning langzaam tot $-E_g$, welke waarde op het tijdstip t_3 bereikt wordt. t_3-t_2 is dus een maat voor de ontionisatietijd.

Meting van de effectieve ontionisatietijd

Ontionisatie bij een triode

Wij zullen ons nu bezighouden met de meting van de effectieve ontionisatietijd welke bij een triode bepaalt hoeveel tijd er na een stroomdoorgang moet verlopen voordat het rooster weer in staat is een ontsteking te verhinderen. Voor deze meting gebruiken we de opstelling volgens *fig. 3*.

De dik getekende stroomkring („laagspanningskring") dient voor de ionenproductie en de verwarming tot bedrijfstemperatuur van de te onderzoeken buis G; de transformator T_2 levert een spanning (tussen 30 en 60 V), die juist groot genoeg is om de gewenste stroom door de kring, gevormd door T_2, B_2, G en R_b te sturen. De functie van de met gas gevulde diode B_2 zal straks duidelijk

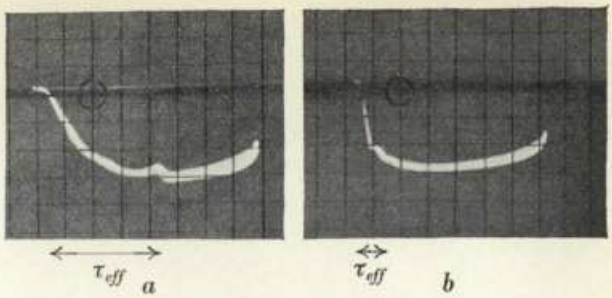


Fig. 2. Twee oscillogrammen van het verloop van de roosterspanning, *a*) voor een buis met lange ontionisatietijd (ca 4 msec), *b*) voor een buis met korte ontionisatietijd (ca 1 msec). Het gedeelte van de kromme dat het verloop van de roosterspanning aangeeft vóór het tijdstip t_2 (vgl. fig. 1), is niet mee opgenomen.

worden, R_b is een belastingsweerstand. Het rooster van G is aangesloten op een bron van negatieve voorspanning; tevens bevindt zich in de roosterkring een piektransformator P_2. Ergens gedurende de positieve halve periode van de anodespanning van G, zeg op het tijdstip t_1 (*fig. 4a*), krijgt het rooster een spanningsimpuls, waardoor de buis ontsteekt, en de anodespanning tot de boogspanning daalt (de rest van de spanning wordt door R_b opgenomen). Op het tijdstip t_2 dooft G doordat de anodespanning beneden de boogspanning daalt. Gedurende de negatieve halve periode staat over G een spanning die bepaald wordt door de zeer kleine geleiding van G in de gedoofde toestand en van de (eveneens gedoofde) diode B_2. In eerste benadering kunnen wij zeggen dat deze spanning nul is. Tijdens de volgende periode herhaalt zich het hele gebeuren.

Nu onderstellen wij dat op het tijdstip t_3 (gedurende de negatieve halve periode van de transformatorspanning) de met gas gevulde triode B_1 door een

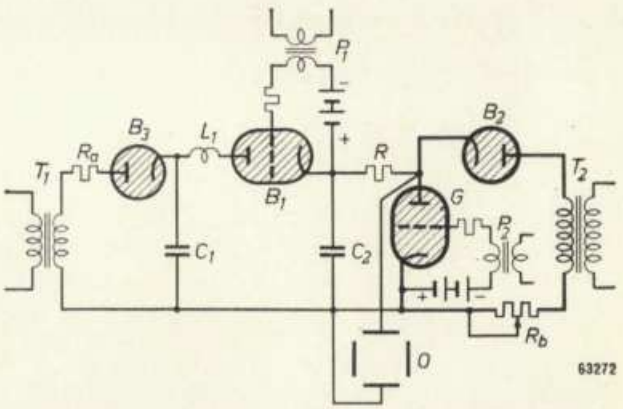


Fig. 3. Opstelling voor het meten van de effectieve ontionisatietijd bij een triode. De werking van de schakeling wordt in de tekst beschreven. De dik getekende kring T_2-B_2-G-R_b (G is de proefbuis) levert de ionen, waarvan we willen nagaan na hoeveel tijd hun effect is verdwenen, alsmede de verwarming op bedrijfstemperatuur van G; het linkergedeelte van de figuur toont de schakeling voor het maken van positieve spanningsimpulsen met steil oplopend front. Het verloop van de spanning over G wordt op een oscillograaf afgelezen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

impuls op zijn rooster uit de piektransformator P_1 ontsteekt. Daardoor vloeit de lading van condensator C_1, die deel uitmaakt van de gelijkrichtschakeling T_1-R_a-B_3-C_1 („hoogspanningskring"), door de zelfinductie L_1 en door B_1 naar C_2. C_2 wordt dus geladen; wij kunnen deze lading zeer snel doen verlopen door C_1, L_1 en C_2 goed te kiezen. B_1 gaat weer vanzelf dicht zodra de lading van C_2 is geëindigd. Op de anode van G komt dus een spanningsimpuls met een steil oplopend front, zoals in fig. 4*b* is geschetst. De grootte van de spanning die door T_1 wordt geleverd (enkele honderden volts), alsmede de schakelelementen C_1, C_2 en L_1 zijn zo gekozen dat de hoogte van deze impuls groter is dan de spanningen die in het algemeen in de practijk zullen voorkomen, maar nog niet zo groot dat G, bij afwezigheid van ionen in de buis, doorslaat bij de gegeven negatieve roostervoorspanning. De condensator C_2 zal dus, als aan bovengenoemde voorwaarde is voldaan, zich pas weer kunnen ontladen wanneer G ten gevolge van een impuls op zijn rooster ontsteekt, dat is op het tijdstip t_1'.

Is het tijdstip t_3 echter zo gekozen dat, wanneer C_2 wordt geladen, zich nog ionen in G bevinden, dan zal G wel ontsteken, ook zonder roosterimpuls, wanneer de anodespanning, dus de spanning over C_2, een zekere waarde overschrijdt. De lading van C_2 zal dan direct door G afvloeien. De spanning die over G moet staan om de buis te doen ontsteken, is natuurlijk afhankelijk van het aantal ionen in de buis; vandaar dat de topspanning die over C_2 komt te staan des te lager is, naarmate t_3—t_2 kleiner is (fig. 4*c*).

We kunnen nu, omdat we het verschijnsel met de netfrequentie herhalen, de spanning over G op de oscillograaf zichtbaar maken, en zo gemakkelijk nagaan bij welk tijdsinterval de volledige spanning over C_2 nog door G wordt verdragen. We moeten daartoe de impulsen uit P_1 en P_2 ten opzichte van elkaar in faze variëren. Dit kunnen we op verschillende manieren bereiken. In onze proeven is steeds gebruik gemaakt van een zg. inductieregelaar, dat is een inductiemotor met vastgehouden rotor waarvan we de stator op een drie-fazen-net aansluiten. Aan de rotorwikkeling ontlenen we de primaire stroom voor een der piektransformatoren. Door de rotor met de hand te verdraaien kunnen we de faze van deze stroom ten opzichte van de statorfaze regelen.

Het minimale tijdverschil tussen het doven van G en de impuls op C_2 waarbij de buis G nog niet ontsteekt is de gezochte effectieve ontionisatietijd. In *fig. 5* zijn enkele oscillogrammen van het verschijnsel weergegeven, we zien duidelijk hoe met steeds kleiner wordend tijdsinterval de impulshoogte, voldoende om G te doen ontsteken, ook kleiner wordt.

De functie van de buis B_2 in het dik getekende deel van de schakeling is te verhinderen dat de lading van C_2 door de secundaire wikkeling van T_2 afvloeit, wanneer buis G niet ontstoken is.

De schakeling levert een zeer veilige waarde voor de ontionisatietijd, daar B_2 belet dat de anode van G negatief wordt (bij een negatieve anode worden de ionen natuurlijk sneller geneutraliseerd).

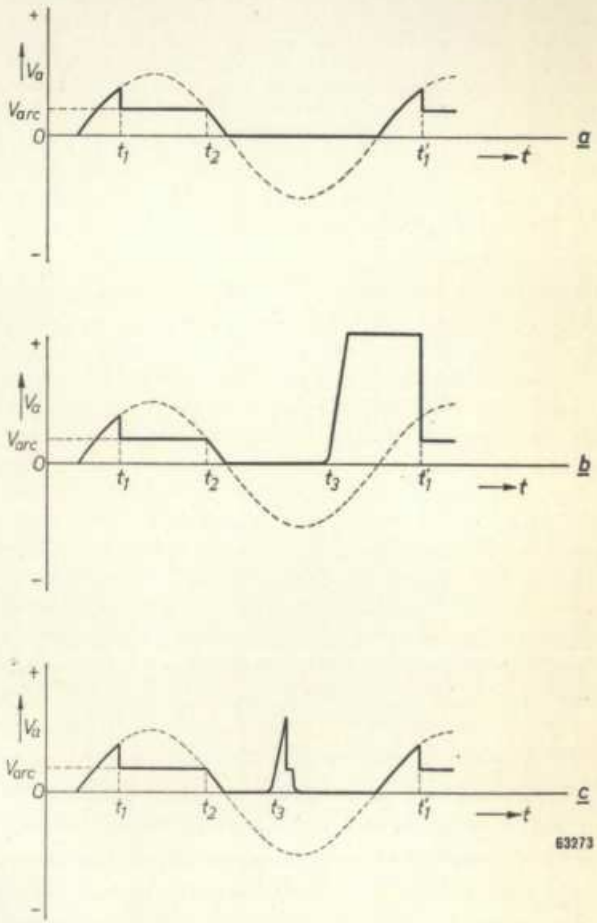


Fig. 4. *a*) Verloop van de anodespanning van G in de opstelling van fig. 3, wanneer over de condensator C_2 geen spanning staat. Op $t = t_1$ ontsteekt G als gevolg van een impuls op zijn rooster, op $t = t_2$ dooft de buis, daar de anodespanning dan beneden de boogspanning daalt. Dat over G geen negatieve spanning ontstaat in de negatieve halve periode van de transformatorspanning, is te wijten aan de aanwezigheid van de diode B_2 (zie fig. 3). In de volgende periode herhaalt zich het verloop. *b*) Als *a*), doch nu wordt tijdens de negatieve halve periode op $t = t_3$ buis B_1 geopend, waardoor over G een positieve spanning komt te staan; G ontsteekt echter niet, want zijn roosterspanning is negatief en er zijn weinig ionen in de buis, daar t_3—t_2 groter is dan de effectieve ontionisatietijd. Eerst op het tijdstip t_1', wanneer het rooster van G weer een impuls krijgt en G ontsteekt, daalt de spanning weer tot V_{arc}. *c*) Als *b*), doch nu is t_3—t_2 kleiner dan de effectieve ontionisatietijd. G ontsteekt, door de aanwezigheid van voldoende ionen, ondanks de te lage roosterspanning, zodra de spanning op de anode een zekere waarde bedraagt. Deze waarde hangt af van het aantal ionen, dus van t_3—t_2. De spanning over G daalt dan binnen enkele µsec tot de boogspanning, en, na beëindiging van de ontlading van C_2, tot nul, eveneens binnen enkele µsec.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

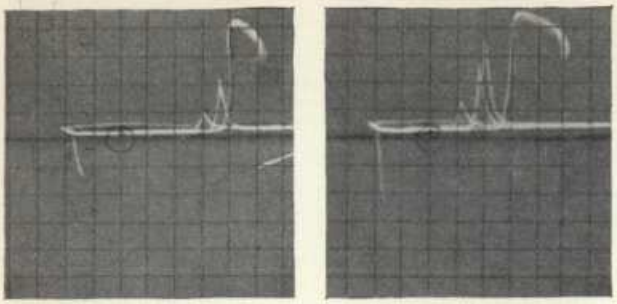


Fig. 5. Twee oscillogrammen van het in fig. 4 besproken verschijnsel, *a*) voor een buis met grote τ_{eff} (1,2 msec), *b*) voor een buis met kleinere τ_{eff} (0,85 msec). Alleen het verloop van de anodespanning in het tijdsinterval van t_2 tot kort na t_3 is weergegeven, en wel zijn in dezelfde figuur de krommen voor verschillende intervallen t_3—t_2 gereproduceerd. Duidelijk is te zien hoe de impulshoogte waarbij G juist ontsteekt varieert met dit tijdsinterval. De dalende tak van de impuls heeft niet het discontinue verloop als in fig. 4c is getekend, doch een vloeiend verloop. Dit komt door de invloed van de meetpotentiometer. De pijl, corresponderend met het verticale lijntje links in de figuren, geeft het tijdstip t_2 aan.

Zoals uit de definitie van de effectieve ontionisatietijd volgt, is deze tijd voor elke practische toepassing anders. Door een kleine wijziging in de „laagspanningskring" van de opstelling van fig. 4 aan te brengen, kunnen we deze opstelling geschikt maken voor de meting van de effectieve ontionisatietijd van een triode die in een meerfazige gelijkrichtschakeling wordt gebruikt. In zo'n schakeling komen verscheidene gelijkrichtbuizen (hier trioden) voor; de stroom wordt beurtelings door een der buizen gevoerd. Bij het commuteren valt de stroom door een buis zeer snel van een vrij hoge waarde tot nul [4]). Wij zullen in dit geval een grotere effectieve ontionisatietijd verwachten dan in het geval van een eenfazige gelijkrichtschakeling. In *fig. 6* is de bedoelde wijziging in de laagspanningskring van fig. 3 afgebeeld, zij wordt in het onderschrift van de figuur toegelicht.

De opstelling van fig. 3 kan voor buizen die een niet te grote stroom voeren vereenvoudigd worden. In dit geval kan de brandstroom direct geleverd worden door de „hoogspanningskring". In *fig. 7* is de vereenvoudigde schakeling afgebeeld. G stelt weer de te beproeven buis voor. Door de gelijkspanningsbron A wordt, als de gastriode B geopend is, de condensator C geladen. Het rooster van G is op een zodanige negatieve spanning gebracht, dat G niet kan ontsteken. Geven we het rooster van G een spanningsimpuls uit piektransformator P_2, dan zal de buis ontsteken, en de lading van C zal door G afvloeien. We kunnen dit proces zeer snel laten verlopen door L en C op de juiste wijze te kiezen. Nu brengen we op het rooster van B een impuls zodat B weer ontsteekt en C opnieuw wordt geladen.

Is het tijdverschil tussen de ontlading van C door G en deze hernieuwde lading groter dan de effectieve ontionisatietijd, dan zal C geladen blijven; is dit tijdverschil echter kleiner, dan zal C zich, zodra de spanning een bepaalde waarde heeft bereikt, door G ontladen. Door oscillografisch het verloop van de spanning over G te meten als functie van het tijdverschil (dat we met een fazeregelaar variëren) tussen de impulsen op de roosters van G en B, kunnen we dus weer de effectieve ontionisatietijd bepalen.

In dit geval wordt, door de invloed van L, de anode van G wel gedurende een gedeelte der periode negatief.

Ontionisatie bij een diode

Wij willen nu een oscillografische methode beschrijven waarmede we de effectieve ontionisatietijd die door de daling van de ontsteekspanning van een diode bepaald is, kunnen meten, en wel bij een diode die gebruikt wordt in een relaisschakeling. Voor de goede werking van zo'n schakeling is het nodig dat de ontsteekspanning van de diode boven een vastgestelde waarde ligt. Als voorbeeld kiezen we het geval van een glimbuis, met koude kathode; de methode geldt echter even goed voor een diode

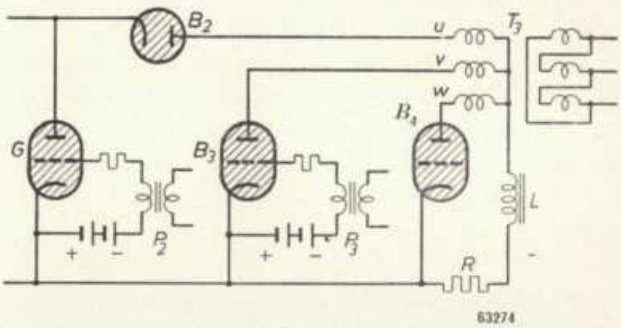


Fig. 6. „Laagspanningsgedeelte" van de opstelling voor het meten van de effectieve ontionisatietijd in een triode G, die zich in een schakeling voor meer-(hier drie-)fazige gelijkrichting bevindt. De buizen G, B_3 en B_4 zijn aangesloten op de elkaar opvolgende fazen u, v en w van de driefazentransformator T_3. In het periodegedeelte waarin de anode van G positief is, wordt G ontstoken door een spanningsimpuls uit piektransformator P_2 op het rooster (dat normaal op een zo grote negatieve voorspanning staat dat G zonder meer niet ontsteken kan). Het is bekend dat in een dergelijke schakeling niet twee der buizen tegelijk kunnen branden (zie het in [4]) aangehaalde artikel). We ontsteken nu B_3 door een impuls op zijn rooster uit piektransformator P_3 op een zodanig ogenblik dat de spanning van faze u nog niet beneden de boogspanning van G is gedaald, doch de spanning van faze v wel reeds boven de spanning van faze u ligt. Zodra B_3 ontsteekt, valt de stroom door G zeer snel van een nog hoge waarde tot nul, en dit is juist de omstandigheid waaronder we de effectieve ontionisatietijd willen meten. Door het tijdstip van ontsteking van B_3 te variëren, kunnen we de condities waaronder we de effectieve ontionisatietijd van G meten, nog regelen.
De buis B_4 (het rooster hiervan staat op een zodanige voorspanning dat de buis normaal ontsteekt zodra de spanning van faze w een bepaalde waarde overschrijdt) dient slechts om er voor te zorgen dat de door T_3 geleverde stroom een vrijwel constante waarde bezit.
B_2 heeft weer de functie, ontlading van de condensator C_2 (vgl. fig. 3) over de transformator tegen te gaan.

[4]) Tj. Douma, Spanningsstoten in gelijkrichters, Philips techn. T. **9**, 135-147, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

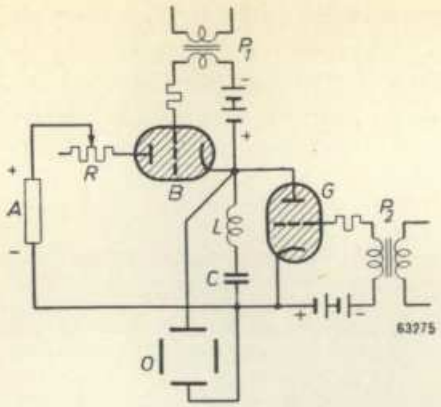


Fig. 7. Vereenvoudigde opstelling waarmede hetzelfde doel wordt bereikt als met die van fig. 3. Hier is geen afzonderlijke kring voor de levering van de bedrijfsstroom door de buis aanwezig.

met verhitte kathode. De schakeling is in *fig. 8* geschetst. De dik getekende kring stelt een nabootsing van de relaisschakeling voor. Het principe van de schakeling is als volgt. Door twee identieke netwerken, ieder met een bestuurde gastriode, kunnen aan de anode van de te meten buis G positieve spanningsimpulsen worden afgegeven. Het tijdverschil tussen beide impulsen is instelbaar. Als gevolg van de eerste impuls ontsteekt de buis. Na ontlading van de condensatoren C_4 en C_3 daalt de spanning over de buis beneden de doofspanning en de buis gaat uit. Wanneer de volgende spanningsimpuls op de anode wordt gebracht, zal de buis weer ontsteken en de geschiedenis zal zich herhalen. Waren er ten tijde van de tweede impuls nog ionen in de buis, dan zal de ontsteekspanning lager zijn geweest dan tijdens de eerste impuls, en de gemeten topspanning van de tweede impuls zal dan beneden de normale ontsteekspanning gelegen hebben (*fig. 9*). Door het tijdverschil tussen beide impulsen te variëren, kunnen we het verloop van de topspanning van de tweede impuls nagaan en zo bepalen hoeveel tijd er tussen beide impulsen minstens moet verlopen, wil de topspanning van de tweede impuls even hoog zijn als die van de eerste. Deze tijdsduur is de ontionisatietijd. Het gehele verschijnsel is op de oscillograaf waar te nemen. Een beschrijving van de volledige schakeling vindt men in het onderschrift van fig. 8.

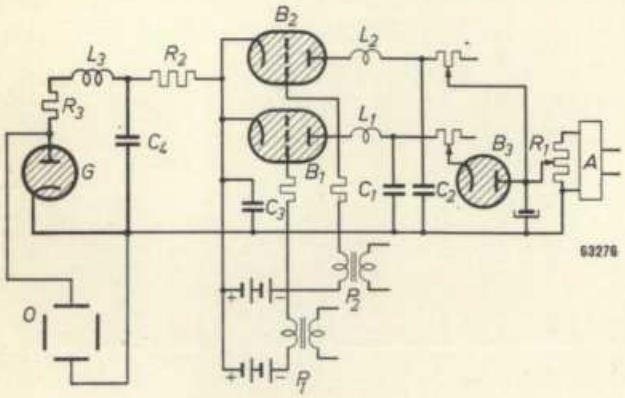


Fig. 8. Opstelling voor het meten van de ontionisatietijd van een diode G die zich in een relaisschakeling bevindt. De smoorspoel L_3 en de weerstand R_3 bootsen een relais na. Door C_3, R_2 en C_4 wordt de impulsvorm bepaald, die zo goed mogelijk moet overeenkomen met de impulsvorm in het normale bedrijf. De werking van de schakeling is als volgt. Door aan het rooster van de gastriode B_1 een positieve spanningsstoot (uit piektransformator P_1) te geven, ontsteekt B_1, en wordt de lading van de condensator C_1 overgebracht naar de condensator C_3 en vervolgens naar de condensator C_4. Is de spanning over C_4 groot genoeg, dan ontsteekt G. Daardoor worden C_4 en C_2 ontladen, en G dooft weer. Na enige tijd wordt B_2 door een impuls uit de piektransformator P_2 ontstoken. B_2 en B_1 hebben precies dezelfde werking (de kringen $B_1L_1C_1C_3$ en $B_2L_2C_2C_3$ zijn identiek), de geschiedenis herhaalt zich dus: G ontsteekt en dooft weer. Waren er nu nog als gevolg van de eerste ontsteking ionen in buis G ten tijde van de tweede ontsteking, dan zal de ontsteekspanning die tweede keer lager hebben gelegen, en de topspanning van de impuls over C_4 had niet de maximale waarde. Door deze topspanning te meten als functie van het tijdverschil tussen beide impulsen, is de ontionisatietijd van de buis G te bepalen. Het gemakkelijkst gaat dit door de faze van een der piektransformatoren (P_2 in de figuur) via een fazeregelaar (zie tekst) instelbaar te maken ten opzichte van die van P_1, en de anodespanning van G op de verticale afbuigplaten van een oscillograaf te brengen.
De buis B_3 dient om te verhinderen dat bij korte impulsafstanden de condensator C_2 de condensator C_1 laadt. De gehele schakeling werkt met een herhalingsfrequentie van 50 Hz.

Wij willen er nog even op wijzen dat men om de ontionisatietijd nauwkeurig te meten, feitelijk de tijd zou moeten bepalen welke verloopt tussen het einde van de stroomdoorgang door G ten gevolge van de eerste impuls, en het begin van de spanningsstijging ten gevolge van de tweede impuls, onder verwaarlozing van de „aangroeitijd"

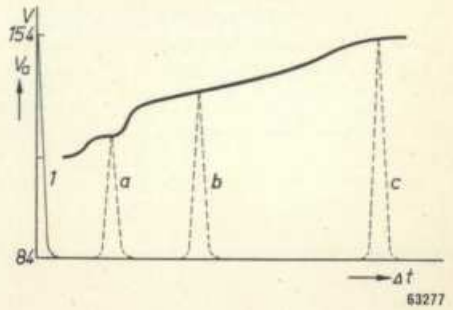


Fig. 9. Verloop van de topspanning van de tweede impuls op de anode van G (in de schakeling volgens fig. 8) als functie van het tijdverschil Δt tussen beide impulsen. De ontsteekspanning van de buis als er geen ionen aanwezig zijn is 154 V, de doofspanning bedraagt 84 V. Kromme *1* is het verloop van de anodespanning op G ten gevolge van de eerste spanningsimpuls. De gestippelde impulsen *a*, *b*, en *c* geven aan hoe de spanning op de anode varieert tijdens de tweede impuls. De maximale waarde van deze spanning hangt af van het tijdverschil tussen deze en de vorige impuls. De dik getekende kromme laat zien hoe de ontsteekspanning tijdens de tweede impuls met dat tijdverschil varieert.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van deze laatste. Nu blijkt uit *fig. 10*, waarin het verloop van de stroom door G tijdens een impuls is geschetst, dat het einde van de stroomdoorgang moeilijk is aan te geven. Daarom meten we liever het tijdverschil tussen het begin van de eerste en het begin van de tweede impuls. Practisch is dit tijdverschil ook het belangrijkst; we bepalen op deze manier direct de maximale schakelfrequentie waarmee de buis kan werken.

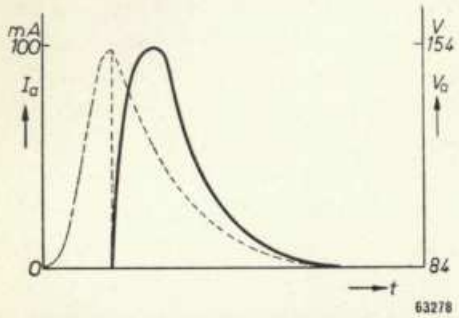


Fig. 10. Verloop van de stroom door een glimbuis met koude kathode tijdens een spanningsimpuls op de anode als functie van de tijd. Het einde van de stroomdoorgang is niet scherp te bepalen. Het verloop van de spanning op de anode is met een stippellijn aangegeven.

Samenvatting. Als effectieve ontionisatietijd wordt gedefinieerd: de tijd die nodig is opdat de ionen in een met gas gevulde buis na een stroomdoorgang voor een zo groot gedeelte geneutraliseerd worden dat ze geen nadelige invloed meer op de werking van de buis bij een volgende stroomdoorgang uitoefenen. Het meten van de effectieve ontionisatietijd is nuttig in die gevallen waarin men zulk een buis vele malen per seconde wil inschakelen en laten doven. De ontionisatietijd bepaalt de maximale frequentie waarvoor de buis bruikbaar is. Beschreven worden: een methode om snel de orde van grootte van de ontionisatietijd in een triode te bepalen, een opstelling om de effectieve ontionisatietijd te bepalen bij een triode, o.a. als deze zich in een installatie voor meerfazige gelijkrichting bevindt, en een methode voor de bepaling van de effectieve ontionisatietijd van een diode in een relaisschakeling.

Rectificatie.

In het artikel „Draad- en kabelisolatie op basis van polyvinylchloride", in het Aprilnummer van de lopende jaargang, moeten in fig. 5 (blz. 103) de getallen van de schaal van tg δ een factor 10 worden verkleind.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!